NHK

電子立国 日本の自叙伝 下

相田 洋

日本放送出版協会

NHK
電子立国日本の自叙伝
相田 洋
日本放送出版協会

半導体王国・日本は、いかにして生まれ
築きあげられたのだろうか。
本書は、半導体文明の発達を担った人たち――
いわば「石に憑かれた男たち」を日米に追って
半導体産業の歴史的全貌を描いた
迫真のドキュメンタリーである。

NHK 電子立国 日本の自叙伝 下

相田 洋

日本放送出版協会

NHK
電子立国　日本の自叙伝［下］

目次

第1章■日本独自の新技術 7

第2章■国産集積回路の開発 47

第3章■日本の計算機づくりの歩み 95

第4章■電卓時代の到来 159

第5章 ナトリウム・パニックの謎 207

第6章 アメリカからのノウハウ 263

第7章 電卓戦争の勝者と敗者 317

第8章 日本の電卓から世界の電卓へ 361

第 章

日本独自の新技術

プレーナトランジスタの市場席巻

ゲルマニウムトランジスタが誕生したとき、多くの人々は、これがやがては真空管にとって代わるだろうと考えた。トランジスタには焼け切れるフィラメントもなければ、壊れるガラス管もないので、半永久的に使えるものだと考えたのである。

ところが実際には、ゲルマニウムトランジスタは、誕生以来さまざまなトラブルに悩まされつづけた。製造中の生産歩留まりが上がらなかったり、出荷後に性能が劣化したり、あるいは熱に対して弱かったり。特に需要の多くが軍事的要請に支えられていたトランジスタにとって、耐熱特性が劣悪だという弱点は早急に改善する必要があった。

こうしてトランジスタは、ゲルマニウムからシリコンへと転換していくのだが、シリコンは融点が高く、しかも溶融状態では、あらゆる物質と化合したがる厄介な物質であった。したがってシリコンは純度を上げることも、単結晶にすることも難しかった。融点ではシリコンは何個でも化合したがる活性の激しい物質であった。だから、たとえばゲルマニウムでは溶融器具として使えた炭素が、シリコンでは使えなかった。融点ではシリコンが炭素と化合して、シリコンカーバイトになってしまうからである。しかし、この活性の激しさがゆえにシリコン利用の道が開けたともいえるのである。

酸素と化合すると、シリコンの結晶表面には、丈夫な絶縁膜ができる。こうして発見されたのが「シリコン酸化膜」である。あるいは高熱下では伝導物質（不純物）のガスにさらすと、シリコンの電気的な性質が伝導物質と同じ性質に変化する。たとえばN型の物質をガス状にして触れさせると、シリコンは表面からN型に変わっていき、P型物質のガスにさらすと、P型に転化していく。これが「ガス

拡散法」である。
この二つの技術を駆使して、シリコントランジスタの製造技術が次第に確立していく。シリコン結晶の表面をいったん丈夫な酸化膜で覆い、そのあとで必要な場所だけ選択的に酸化膜を取り除き、そこから希望する伝導物質をガス拡散法で浸透させ、シリコン結晶の電気的性質を転化させていく。これを何度か繰り返すことで、シリコン結晶の中にPNPやNPNの三層を形成させることができるようになった。しかも、この方法ではサンドイッチ構造の中間層をきわめて狭い間隔に、精密に制御できるようになり、トランジスタの性能と生産性が格段に向上したのである。
やがて、もう一つの重要な技術が考案された。リソグラフィーとか写真エッチングと言われる技術で、酸化膜を精密に除去するための方法であった。酸化膜の上に感光剤を塗り、除去したい部分を光から遮蔽するための黒い図形をつくり、これを重ねて露光する。光が当たった場所は感光剤が硬化して酸化膜を保護する硬化膜となり、黒い図形に遮られて光が当たらなかった場所（つまり酸化膜を除去したい場所）は感光剤が固まらず、水で洗えば流れ去り、酸化膜の地肌が剝き出しになる。これを薬品に浸けると、今度は酸化膜が溶け出して、シリコン生地が顔を出す。他はすべて酸化膜で覆われ、必要な場所だけにシリコン生地が剝き出しになっている。
いわば酸化膜に窓が開いた状態だが、この状態のままシリコンを拡散炉に入れて必要な伝導物質を拡散してやると、窓下のシリコンだけが拡散物質と同じ電気的性質に転化する。これを何度か繰り返して、トランジスタを酸化膜の下につくり込んでしまう。これを拡散型トランジスタと呼んだ。
拡散型トランジスタは、ゲルマニウムのメサトランジスタに始まって、シリコンのメサトランジスタを経て、最後に、プレーナトランジスタで完成をみる。すべての構造が、酸化膜の下に格納され、

表面に出ているのはアルミニウムの電極だけという特徴をもっていた。したがってプレーナトランジスタは、製造中に汚染されて歩留まりが急落することが少なくなり、出荷後も安定した動作をした。

このトランジスタの登場で、初めてトランジスタの劣化問題が大きく改善され前進したのである。プレーナトランジスタは、たちまち他を駆逐し世界市場を独占的に支配した。フェアチャイルド・セミコンダクタ社には莫大な利潤が入り、会社は急成長を遂げ、アメリカを代表する半導体企業にのし上がった。

プレーナトランジスタをつくる工程の最終工程「アルミ蒸着による配線」は、そのまま集積回路に使われた。酸化膜の下に埋め込んだ三層構造から電極を酸化膜の上に取り出すために工夫したのが、「コンタクトホール」という電極のための上下通路であった。酸化膜の下にすべての三層構造をつくり込んだあと、再び全面を酸化膜で覆い、各層の真上に位置する部分に穴を空けて、これを電極用の上下通路にする。これがコンタクトホールである。

これができたところで全面にアルミニウムを真空蒸着させると、アルミの膜がコンタクトホールの中に顔を出している層に付着する。つまり酸化膜下の各層は、コンタクトホールを通じて酸化膜上に電極を表出させている状態である。ただし、このままでは各層がアルミの蒸着膜でつながっている。そこで不要なアルミ膜を取り除くために、感光剤を塗り、不要部分を黒い図形にしたガラスマスクを重ねて露光。薬品で処理すると、必要なアルミ蒸着膜だけが残るという寸法である。

もし、酸化膜の下にトランジスタだけでなく、抵抗やコンデンサーもつくり込み、それらを同じ技術でアルミ配線できれば、それは「シリコン結晶の中に装置をつくり込んだ」ことになる。こうして実用的な集積回路の技術が、プレーナ・プロセスの上に築かれた。

プレーナ技術を考案したのは新興企業フェアチャイルド社の技術者ジーン・ハーニーであり、前記のような集積回路を思いついたのは、総支配人ロバート・ノイスであった。これは現代のＬＳＩ製造工場も踏襲している基本技術であるが、これを生み出したのがアメリカの新興企業フェアチャイルド社であった。

ロバート・ノイスは生産工場を日本に建設し、現地生産したプレーナトランジスタを日本で販売しようと考えた。その申請と交渉のために昭和三七年（一九六二年）に来日したノイスは、通産省に日参した。しかし通産省はフェアチャイルド社の生産工場を許せば、対抗できる技術をもたない日本の半導体企業はひとたまりもなく壊滅すると判断した。

日参するロバート・ノイスには、工場建設の可否を確答せず、相手が日本上陸をあきらめる戦法をとった。やがて通産省の思惑通り、ロバート・ノイスは日本での工場建設をあきらめ、プレーナ特許の使用権を日本企業に高く売ることにした。そうしたノイスが駆け込んだところが、当時、日本電気半導体事業部長代理開発課長をしていた長船廣衛さん（七四歳）のところであった。

ロバート・ノイス氏

ときに、ノイスと長船さんは数年来の親交を結んでいた。上巻第6章の二五一～二五六ページで触れた通り、一九五七年（昭和三二年）にボールダーで開かれた空軍主催の秘密会議に、長船さんは無資格のまま参加した。ベル研究所のアンダーソン技師長の骨折りで可能になったのだ。

ノーベル賞の受賞者ブラッテン博士の車に同乗させてもらった長船さんは感激のあまり、博士のハゲ頭を後部座席

長船廣衛氏

から写真に撮る。このとき知り合ったのが、ショックレー半導体研究所から派遣されていた若き日のロバート・ノイスであった。

これがきっかけとなって、二人の付き合いが始まった。後に長船さんはアメリカNECの社長に就任して六年間アメリカに滞在するが、その時代もしばしば互いに誘いあって親交を深めたという。

しかし、ノイスがアメリカの国策的な組織セマテックの会長に就任してからは、二人の親交は途絶えがちになった。これはずっと後の話である。

一九六二年（昭和三七年）に日本にやってきたロバート・ノイスは、通産省に工場進出を事実上阻止されて、思いあまって日本の友人に電話をするのである。

長船　確か昭和三七年の一月か二月だったと思いますが、ノイスが私に直接名指しで電話をかけてきましてね。「フェアチャイルド社は日本に工場をつくり進出したいのだが、MITI（通産省）が認可してくれない。日参したんだが、ラチがあかない。日本のMITIぐらい、頭の固いところはない。こうなったら日本進出はあきらめて、プレーナ特許の使用権をどこかに売りたいんだが、日本電気はどうだろうか」とね。

――なるほど。

長船　日本で工場をつくることは無理だと思うので、日本ではプレーナ特許の使用権を日本電気に独占的に売りたいと思っているのだが、この話をトップに伝えてもらえないだろうかと言うんですね。

――それで、どうなさったんですか？

長船　僕は小林名誉会長のところに話を持って行ったんです。彼がまだ常務ぐらいのときでしたが、彼はすぐに決断して、話を進めることにした。

――最初の条件は？

長船　ノイスが提示した最初の条件は、生産額の七パーセントを特許使用料として払うというものでした。これはベラボウに高すぎるというので、断ったんです。すると、やがて五パーセントに下げてきた。もう少し下げさせようとしているうちに、他社がプレーナ特許の重要性に気づいたのか、六パーセントでもよいというところが出てきましたので、結局四・五パーセントで独占使用権を得るということで、昭和三九年九月に契約を結びました。

――生産額の四・五パーセントを払えば、プレーナ・パテントを独占的に使用できた？

長船　そう。だからフェアチャイルド社ですらプレーナトランジスタを日本に輸出しようとすると、これに抵触した。したがって日本のライバル他社がプレーナ・プロセスを使おうとすると、日本電気に特許使用料を払わなければいけなくなったんです。

――恨まれましたね、他のメーカーから。これはIC時代に入っても必要な技術ですからね？

長船　ええ。ことに日立からはね。

独自技術開発への熱望

当時の日本半導体メーカーは、特許地獄と言われるほど、アメリカの半導体メーカーに莫大な特許

使用料を払っていた。トランジスタの基本特許のほかにもいくつかの特許について使用料を払っていた。それが製造コストに占める割合は、売上の一〇パーセントにも達し、これに加えてプレーナ特許の使用料を払うことは、どの企業にとっても耐えられない負担増であった。しかも国内各社はプレミアム（割増料金）を払って、ライバル企業の日本電気から特許使用権を買わねばならない。

そんななかで、プレーナ特許に頼ろうとしなかった二つの会社があった。

日立製作所と東芝は、プレーナ特許に抵触しない技術を独自に考案しようと自主開発の道を模索したのである。当時日立製作所武蔵工場のシリコン製作課長だった佐藤興吾さん（現在秋田県工業新興協議会長）は、当時を次のように回想する。

佐藤　当時常務だった武井忠之さんがいちばん詳しいですけど、日本の半導体業界が最も恐れていたことは、当時、アメリカの半導体企業が日本上陸を企んでいたことですね。彼らが持っていた強力な武器が二つありました。一つがフェアチャイルド社のプレーナ特許。もう一つが、テキサス・インスツルメンツ（ＴＩ）社のジャック・キルビーが発明したＩＣ特許でした。

――黒船来襲ですね。

佐藤　特にプレーナ特許は重大でした。半導体関係者は長い間、トランジスタの低い生産歩留まりや、出荷後に起きる劣化現象に苦しんでいました。ですから、それを根本から解決することになるプレーナ特許は、大変な技術でした。今日のＩＣがあるのも、その技術が基本ですから。

――にもかかわらず、なぜ独自路線を選ぶんですか？

佐藤　そのことについてはお亡くなりになった工場長の伴野正美さんとか、常務の武井忠之さんなどのほうが詳しいかもしれませんが、私も交渉の席上にいましたので、当時の感じは知っているんです。

——何の交渉ですか？

佐藤　プレーナ技術を日電さんがフェアチャイルド社から独占使用権を買って、他のメーカーにライセンスを売るというんですね。それでロバート・ノイスが日本に来られているので、買ってくれそうな会社に対して、ノイスが直接一社ずつに、説明会を開いてくれるというので、私たちは聞きに行ったんです。

——説明会に。

佐藤　ええ。プレーナ技術の技術的特徴を説明して、他の技術では及びもつかない優れた利点をもっていて、四パーセントの使用料なら安いもんだということを、ノイス自らが解説していました。

佐藤興吾氏

——それをお聞きになって、いかがお感じでしたか？

佐藤　日立武蔵の幹部が全部出席していまして、当時は皆血気盛んでしたから。私も血の気が多いほうでしたから、これは国難といいますか、社難といいましょうか、何がなんでも自分でやらなければならないという気持ちが強うございましたね。ですから、いかに苦しくても、何とかこれを自分の力で乗り越えないといけないと、参加した

者は全員が感じたと思います。

――冗談じゃない？

佐藤　しかも日本電気にプレミアムをつけて払うんですから、踏んだり蹴ったりなんですね。そこも問題でした。

――大変よく理解できます。

佐藤　それに、当時の責任者だった伴野さんという方が研究所の出身の方で、非常に独自性を重んじたんです。どうしても日立独自の国産技術で行きたい。どんなに難しくっても、常に独自路線を歩みたいと熱望していたんです。

――いくら熱望しても、簡単に実現できる話じゃありませんよね。

佐藤　そうです、お手本がないですから。自分で全部解決していかなければいけませんでしたからね。

結果から先に書くことにする。まず、次ページの二組みの写真を見比べていただきたい。

写真A-1はプレーナトランジスタ。写真A-2はプレーナトランジスタを無数につくり込んだウエハーの表面。涙滴型をしているのが、一個のトランジスタである。写真B-1は日立製作所がプレーナ型に対抗して開発したトランジスタ。写真B-2はウエハー表面に搭載されたトランジスタ。A・Bとも外観が酷似していることに気づく。

次に図1-A、B二枚の構造図を見比べていただきたい。図1-Aがフェアチャイルド社が考案したプレーナトランジスタの構造であり、図1-Bが日立製作所がプレーナ特許を逃れることに成功したLTPトランジスタである。いずれも日立製作所の社内広報紙に掲載していたものであるが、なんと瓜

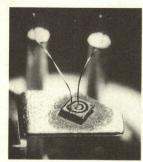
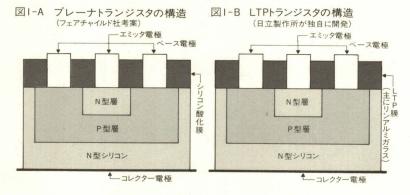
A－1　プレーナトランジスタ

A－2　プレーナトランジスタをつくり込んだウエハーの表面

B－1　日立製作所が開発したトランジスタ

B－2　ウエハー表面に搭載されたトランジスタ

図1-A　プレーナトランジスタの構造（フェアチャイルド社考案）

図1-B　LTPトランジスタの構造（日立製作所が独自に開発）

二つの構造をしていることだろう。プレーナトランジスタの酸化膜を、LTP膜に置き換えたらLTPトランジスタになる。

事実、LTPトランジスタは、次のような発想から生まれていた。プレーナ特許の真髄が「シリコン結晶の表面をすべて酸化膜で覆う」のであれば、「酸化膜をいったん除去したうえで、LTPという新しい膜をつけ」れば、プレーナ特許にはまったく抵触せず同じ構造のトランジスタができる。なんと巧妙な手口であろうか。LTP膜というのは、Low Temperature Passivation（低温表面処理）の頭文字をとってつけられた略語で、シリコン酸化膜が高熱処理でつけられるのに比べ、LTP法では低温処理でシリコン表面にシリコン酸化膜とは違った、絶縁膜を形成させることができたのである。

LTP法の重要なポイントは、シリコン結晶を低温で表面処理することであるが、その方法の原型を考案したのが現在筑波大学工学部教授の徳山巍さん（六二歳）であった。東大工学部計測学科を昭和二八年に卒業して日立製作所に入社。当時、中央研究所の主任研究員として、メサトランジスタの劣化対策に取り組んでいたが、その過程で、「低温処理でシリコンに絶縁膜をつける」方法を発見したのであった。その技術を流用すれば「酸化膜をいったん除去したうえで、LTPという新しい膜をつけ」ることが可能であり、プレーナ特許にはまったく抵触することなく、同じ構造のトランジスタができると工場の生産技術者たちが言い出したのである。

徳山　プレーナトランジスタというのは、シリコン表面に酸化物の膜をつくり、その酸化物の膜に小さな窓を開けて、そこから不純物を拡散注入してPN接合をつくるんですが、プレーナ特許が新技術として認められた重大ポイントは、接合をつくった後に、窓以外の場所は「酸化膜を取らないで残しておく」ことなんですね。酸化膜で覆って窓を開けて、そこから

不純物を拡散注入するという技術はウエスタン・エレクトリック（WE）社の特許なんですね。プレーナ特許というのは、その「酸化膜を取らないで、後までずっと残しておく」という特許だったのです。

——なるほど。

徳山　ところが、私の経験では、酸化膜をつくって窓を開けて、そこから不純物を入れるとなると、どうしても結晶の中にひずみができたり、あるいは、酸化膜と結晶との間にひずみができる。

——なるほど。

徳山　ですからプレーナトランジスタでは、酸化膜のすぐ下側のシリコン層というのが不純物で汚れているし、構造的に結晶にひずみが入っているんですね。

——それで？

徳山　そこで私たちは、そうした酸化物の表面層を全部薬品エッチングで除去してしまい、その上にまったく別の保護膜をつけようと考えたんですね。それがLTPトランジスタでした。

——プレーナ特許が「酸化膜を残す」のが特徴なら、LTP法では「酸化膜をいったん除去したうえで、別の保護膜をつける」というわけですね。

徳山　そうなんです。LTP法で良好な膜をつくる。その膜というのは、もう下にトランジスタができていますから、

徳山巍氏

当然低い温度でつけなければいけない。

――高い温度だと、トランジスタを破壊しちゃう……。

徳山　そうです。ですから、トランジスタを形成させるところまでは、プレーナ・プロセスとまったく同じなんですが、これはWEの特許で、プレーナ特許にはまったく抵触しません。しかもそのあと、酸化膜を全部除去して低温処理で新しい保護膜をつけますから、プレーナ法よりは、はるかに結晶に歪みを与えません。ですから、LTP法でつくられたものは、プレーナトランジスタよりは極度に雑音を低く抑えることができたのです。

ここで補足しておいたほうがよいと思うことがある。それはアメリカでは半導体技術が軍事と宇宙を中心に発達してきたために、トランジスタやICは多くがディジタル回路に使われた。ディジタル回路では、信号に対して雑音レベルが高くてもそれほど障害にはならなかった。信号の「有か無か」、あるいは「1か0か」が識別できればよいからである。しかしアナログ回路では、素子の雑音特性は重大な問題であった。

そして日本では、半導体デバイスの多くが民生用のオーディオやテレビなどのアナログ回路に使われたのである。したがって、ディジタル回路では問題にならなかったプレーナトランジスタもアナログ回路に使おうとすると雑音特性に難点があったというのである。

徳山　私が申し上げるのはおかしいですが、当時のステレオアンプの初段増幅は雑音が高くて、トランジスタは使えなかったんですが、LTPトランジスタの登場で、初めて解決できたんです。自慢するわけじゃございませんけれども、ステレオ装置が本当に半導体できちんとできるようになったのは、このLTPトランジスタの後だと思います。

劣化しないトランジスタをつくる

では酸化膜の下にトランジスタ構造をつくり込んで、酸化膜を薬品で除去したあと、どうやって低温処理で新しい保護膜をつけることができたのであろうか。

徳山さんの解説を要約すると、こうである。薬品で保護膜を除去したあと、シリコン・ウエハーを二酸化シリコンのガス(SiO_2)が流れる成長炉に入れる。ウエハー表面には、二酸化シリコンの薄い膜が成長する。今度は、この上に金属を真空蒸着させて炉に入れる。するとシリコン酸化膜の上に金属の薄膜が付着するのだが、この状態で加熱すると、シリコン酸化膜が低温でも溶融して丈夫なガラス膜ができる。金属の薄膜とともに熱すると、本来は千数百度でなければ溶けないはずの二酸化シリコンが、低い温度(といっても数百度)でガラス状に溶けるからである。こうして低い温度で、丈夫なガラスの保護膜を形成することが可能になったのである。

——しかし、それはICの技術になってくると、また通用しなくなるという……。

徳山　いえ。ICでも、そういうガラス膜を低い温度でつくるという技術は、実はあっちこっちに必要なんです。たとえば配線を二層重ねて立体交差していくときに、配線の間の絶縁物にガラス膜を使うとか、あるいはさらにいちばん外側を覆うための膜にガラス膜を使うとか、ICの技術にもLTPのプロセスが大変必要なんです。ですから、最初はトランジスタの劣化防止から始めたことでしたが、現在ではLSIの技術のなかに、ずっと連綿と生きているというふうに言っていいかと思いますね。

——なるほど。

徳山　それから重要なことは、LTPプロセスで大変安定した酸化膜ができたおかげで、金属キャップではない、合成樹脂で固めたレジンモールドのトランジスタが可能になったんですね。

——合成樹脂のパッケージというのは、それほど難しいことだったのですか?

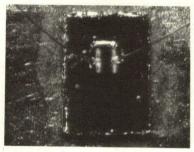
徳山　トランジスタを合成樹脂で固める場合、中身のトランジスタがしっかりと何かで保護されていないと、駄目になるわけです。

——湿気が入っちゃって……。

徳山　はい。トランジスタ全体をLTPのガラス膜で完全に覆ってから樹脂で固めると、湿度や汚染にはびくともしない。汚染に強いトランジスタになったんです。

では、低温処理でシリコン表面にガラスの膜をつくるという方法は、どうやって考えついたのだろうか。聞いてみると、プレーナ型の一世代前のトランジスタであるメサトランジスタの劣化対策に苦しんだあげくに思いついたアイディアであった。

メサトランジスタの構造は、図2-AのようにP型層が剝き出しになっており、PN接合部分に空気中の湿度が結露したり汚染物質が付着するとたちまち激しい劣化を起こした。製造途中で汚染されると歩留まりが急落したし、集荷後に汚染されると、信頼性に大きな打撃を与えた。このメサトランジスタを完成させたあと、電極部以外の酸化膜をエッチングで除去するメサ型特有の工程をやめて、図2-Bのように「酸化膜を残す工夫」をしたのがプレーナ法であった。

同じ悩みを別の方法で解決しようと試みたのが、パッシベイテッド・メサと呼ばれる徳山さん独特の方法であった。汚染に弱いメサトランジスタ全体に、写真Aのように保護膜をつけて、外界から遮断しようと考えたのである。写真Bは表面処理された結果の拡大写真である。パッシベイテッド(表面

B　表面処理された結晶

A　保護膜をつけて外界から遮断する

図2-A　メサトランジスタの構造

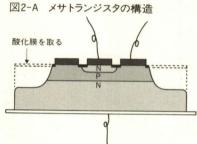



図2-B　プレーナトランジスタ

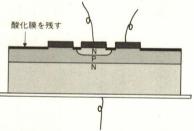
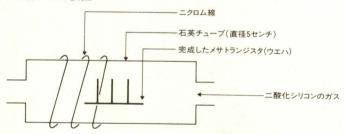



図3　自作のCVD装置

処理が施された、つまり保護膜をつけられた）・メサは、日立の内部ではPassivated Mesaの頭文字をとってPM法と呼ばれた。なお、会話のなかに石英・ガラス・シリコン酸化膜が出てくるが、いずれも組成は二酸化シリコン（SiO_2）である。

徳山　メサトランジスタというのは台地型をしていまして、その上に電極をつけ、それに人間の手で細い金線をつけていくわけですが、問題はこのボンディングの工程での汚染なんですね。トランジスタが保護膜で覆われていないと、トランジスタまではよくできたのに、配線のワイヤ・ボンディング段階で表面を非常に汚して、トランジスタを駄目にしてしまうことが案外多かったんです。

――これを何とか防ぐ方法が必要だった。

徳山　そうです。表面を何かの膜で覆えば、トランジスタの汚染が防げるのではないかと考えたんです。事実、パッシベイテッド・メサにしてからは、製造歩留まりが非常に高くなったと聞いています。それは水蒸気や不純物に対して表面が安定したというメリットの他に、組立て工程における汚染に対して強くなり、製造歩留まりが非常に上がったという余禄までつきました。

――PM法は、どういうことから思いつかれたんですか？

徳山　パッシベイテッド・メサというのは、メサトランジスタを全部つくったあとで、表面にシリコン酸化膜（SiO_2）の薄い膜をかぶせる。そうすることで、トランジスタ表面を水蒸気その他の不純物から守ろうというふうな技術だったんです。

――全工程を終わった後に。

徳山　そうです。ですから、トランジスタがすでにでき上がっていますから、あまり高い温度で酸化膜をつけると中身が壊れてしまいますから、低い温度で酸化膜をつけなければいけない。

――それがLTP、ロー・テンペラチャー（低温）ということなんですね。

徳山　低い温度といっても、七〇〇度とかそういうぐらいの温度でして。シリコンの処理温度というのはすべて一〇〇〇度以上でしたので、それに比べて低いという意味です。そういう低い温度で、石英の膜をつくるという技術は、当時はありませんでした。現在は珍らしくもない普通のことでして、表面酸化の技術は非常に広く使われていますね。集積回路の表面を覆うための膜とか、配線の絶縁物とか、沢山使われているんですが、その当時はまったくなかったんですね。

――ああ、そうですか？

徳山　それで、私はアメリカの『エレクトロ・ケミカル・ソサイエティ』という文献で、保護膜として使えそうなシリコンの有機化合物があることを知り、これを半導体に使えないかと思って試みたのがそもそもの始まりでした。ところがそれをやってみますと、低い温度で有機化合物を分解してつくった膜というのは、高い温度で石英のような膜をつくるのと違って、できた膜が非常にガサガサした穴だらけの状態になり、湿気がその穴から浸透してしまって役に立たない。これを何とかしなくちゃいけないということでやっていたんですが、ガサガサの膜の上にもう一工程、酸化鉛の薄い膜をつくってやると、ガサガサの膜面が低い温度で溶けたんです。

――これで穴が塞がるというわけですね？

徳山　後からこれを工場の人たちが評して言ったのは、道路を舗装するときに、砂利を沢山敷いてガサガサの下地をつくり、そこにアスファルトを流して表面を平らに仕上げますね。すると、道路は水が通らなくなる。

――トランジスタの表面を舗装する？

徳山　そういう発想だと工場の人たちに言われましたけど、まさにその通りなんですね。

――それで効果は？

徳山　当然のことですが、寿命試験をしました。完成したトランジスタを長時間煮沸したんですが、まったく劣化しませんでした。一〇〇〇時間ぐらい熱湯で煮沸して、湿度一〇〇パーセントの状態の中に置いても、特性はまったく変わらなかったんです。これはシリコン酸化膜の表面が酸化鉛の働きで溶解して、小さな穴を全部塞いでしまったからなんですね。

――なーるほど。それで、具体的な製法は？

徳山　メサトランジスタのつくり方は従来通りなんですが、そのあと、表面に有機化合物を分解して、やわなSiO_2の膜をつくるんです。次にその上に鉛の非常に薄い膜を真空蒸着してやり、酸素のなかで加熱する。するとまず酸化鉛の膜ができ、次いで酸化鉛がSiO_2と化合して低融点ガラスになる。

――つまりはトランジスタの表面が、ガラスの膜、つまり丈夫なシリコン酸化膜で覆われるということになるんですね？

徳山　そうなんです。鉛に触れると、やわなシリコン酸化膜（SiO_2）は融点が劇的に下がって、低

い温度で溶けて表面を一面に覆ってしまうんです。

――そうすると、メサトランジスタの表面が丈夫なガラスシリコン酸化膜（SiO_2）の膜に覆われるような状態になるんですね、見た目は。

偶然から生まれた新しい処理法

ここで徳山さんが、いとも簡単に「表面に有機化合物を分解してSiO_2の膜をつくるんです」と言っているが、それはどんなプロセスを言うのだろうか。聞いてみると、こうである。二酸化シリコン（SiO_2）をガス状にして炉の中に流しておき、その中にシリコンを入れて七〇〇度で熱すると、シリコン表面に二酸化シリコンの膜が成長するというのである。

こうした工程を処理するための炉をＣＶＤ（Chemical Vapor Deposition）装置と言い、文字通り（化学的・蒸気・沈澱）装置であり、シリコンや酸化シリコンなどに化学的な処理を施して蒸発ガス化させ沈澱堆積させる装置である。こうした方法のことを、気相成長法と呼ぶのだそうである。現代の半導体技術では日常的に多用されている方法であるが、当時はまだ専用の装置がなかった。

徳山　酸化膜をＣＶＤでやったのは、おそらく私たちが最初ではなかったかと思っています。非常に似た装置を、その後、結晶を成長させるときに使っているわけですが。

――それは、当時ちゃんとした既製品の装置として存在したんですか？

徳山　いえ、とんでもない。装置は手づくりでした。石英のチューブに、まずニクロム線を巻いて簡単な電気炉をつくります。その片方を入口にして、もう片方を出口にしまして、入口

から二酸化シリコンのガスを流せるようにしました（図3）。

——なんとまた簡単というか、単純な装置ですね。

徳山　当時はシリコン単結晶棒の太さが一インチ（二・五四センチ）ですから、シリコンウエハーの直径はちょうど一〇円玉だったんですね。ですから、石英管の太さもそれが入る程度で充分だったわけで、きわめてコンパクトな実験装置で済みました。

——メサ型トランジスタが何十個もできているウエハーを石英チューブの中に入れて、二酸化シリコンのガスを流しながら、ニクロム線で加熱したんですね。

徳山　そうすると、ウエハー全体に二酸化シリコンの薄い層が堆積したというわけです。しかし、こうしてつくられた酸化膜は、水蒸気の中で千数百度で熱してつくる丈夫で高密度な酸化膜と違って、スポンジの層を付着させたようにスカスカに穴だらけであった。これを何とかしなければ、保護膜としては用をなさない。湿度が自由自在に出入りできるようでは劣化を防ぐことができない。これを何とか、高密度の保護膜に換える必要があった。

——さて二酸化シリコンの層をつけたあと、いったん取り出して、今度はどうなさったんですか。

徳山　その上に鉛の薄膜を、真空蒸着で付着させたんです。

——その蒸着装置というのは、また別にあるんですね。

徳山　今でも鏡のように輝くプラスチックなどは、アルミを真空中で蒸発させてプラスチック表面に薄膜を付着させたものですね。真空中で蒸気にして付着させるので真空蒸着と言うんですが、この方法は当時から普通に使われていましたので、アルミの代わりに鉛を使えば、鉛の薄膜が蒸着するわけです。

──さて、蒸着装置の中に入れて鉛の膜を蒸着させる。それを取り出して、再び炉の中に入れるんですか？

徳山　別の炉に入れて、加熱するんです。それには酸素を流してありますから、ウエハー表面に蒸着された鉛の薄膜がたちまち酸化して酸化鉛になり、酸化鉛がその下の層の二酸化シリコンと反応して、二酸化シリコンがガラス状に溶けて表面を覆うというわけです。

シリコンの酸化物と金属の酸化物は非常に化学反応をしやすく、したがって低い温度でも溶けやすい。特にそれらの物質が薄膜状で加熱されると一段と反応しやすくなり、より低い温度でも溶ける性質がある。この原理に基づいてさまざまな金属を模索したが、適当な金属がなかなか見つからなかった。

しかし、最後に酸化鉛がきわめて有効な金属だということに気がつくのである。酸化鉛と二酸化シリコンを一緒に加熱すると、二酸化シリコンは比較的低い温度でも溶けてガラスになったのである。この結果に到達できたのは、たまたま偶然に起きた出来事がきっかけであったという。

──その鉛というのは、どこから思いついたんですか？

徳山　実は鉛には最終的にたどりついたんでして、そこに至るまでに沢山の金属を同じ方法で調べたんです。

──たとえば片っ端から挙げると……。

徳山　たとえばニッケル、クロム、コバルト、あらゆる金属を試したんです。というのは、そういう実験をやる前に、資料漁り（あさり）をしまして、シリコンの酸化物と金属の酸化物は、どんな割合にすると、どんな温度で溶け合うかというふうなデータを収集したんです。そのなか

から低い温度で溶け合うものを探して実際に試していたんです。ところが残念ながら、低い温度で溶け合う金属が見つからなかったんです。

——鉛は除外していたんですか？

徳山　鉛っていうのも、もちろんあったわけですけれども、それまでの常識では二酸化シリコンと鉛は、もっと高い温度で溶け合うはずだと思われていまして、実験をしていなかったんです。

——では、どうやって鉛に気がついたんですか？

徳山　私と実験を一緒にやってくれていた上原敬二郎君という若い人が、ほとんど偶然と言いますか、むしろ悪戯気味と言いますか、石英（二酸化シリコン）の板の上に鉛の粒を載せてバーナーの上であぶっていたんです。

——石英というのは、二酸化シリコンの一種ですね。

徳山　ええ。ですから二酸化シリコンの板に鉛の粒を載せて、バーナーで加熱したことになりますね。そうしたら、みるみる鉛の載っているところが溶けて、穴が空いて、鉛がポトリと落ちてしまったんです。

——鉛と二酸化シリコンである石英が、反応して溶けてしまったんですね？

徳山　その通り。鉛と石英は何か非常に低い温度で反応するらしい。上原君がこう私に報告してくれたんです。それを聞いて、もしかするとシリコンと鉛の組み合わせは、データブックにあるよりは低い温度で溶け合うのではないかと考えまして、急いで鉛の実験を始めたんです。そうしたら、思った通りのことができた。

——大発見ですね。

徳山　薄い膜と膜の間の反応は大きな材料同士の反応とは非常に違うんだということ。これは今では常識になっているんですが、当時はまだ知られていませんでした。そんなわけで、鉛とシリコンの薄膜同士が一般に知られているより低い温度で反応を起こすということが見つかりまして、じゃあ、それをメサトランジスタの表面処理に使って劣化防止をしようと考えたのが、ＰＭ法の発端でした。

——石英は高い温度でも溶けませんよね。

徳山　はい、溶けませんね。炉に使うくらいですから。

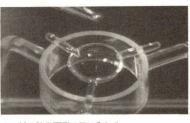
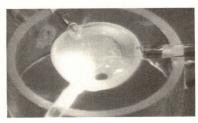
——石英だけではいくら熱しても溶けないのに、その石英に鉛を入れて熱すると、たちまち石英と鉛が反応して、溶けて穴が空いてポトンと落ちるんですか？

徳山　そうです。

——へえー、びっくりしたなあ、そんなもんなんですか。

徳山　そうなんですね。ですけど、私は当時金属のことに詳しくなかったものですから、知らなかったんですが、金属の世界ではよく知られた現象だったんですね。たとえばタングステンなんていう金属は、非常に高融点であって普通は溶けないんですが、タングステンと、何かある種の金属を接触させてやると、非常に低い温度で溶けて合金ができるんですね。

——なんか似ていますね？

徳山　そう。金属でいう合金と非常に似ていて、単一の融点よりははるかに低い温度で反応が起こるんです。ですから、金属と同じように、石英と鉛の酸化物が相接すると、両方の融点よ

C　鉛とガラスの実験をする上原敬二郎氏（日立製作所の社内広報紙より）

A　鉛の粒を石英の皿に入れる

B　赤熱した鉛が石英の皿の底を抜け落ちる

りはるかに低いところで反応が起きる。しかも薄膜同士だと、さらに一段と反応性が良くて低い温度で溶け合ったんですね。

——しかし、そういうことってあるんですね。想像もしなかったことが突然ポコッと？

徳山（笑）……そうですね。

私たちも同じ実験をやってみた。写真Aは、石英でできた直径一センチ足らずの小さなお皿である。左上にピンセットでつまんでいるのが鉛の粒。まずこのお皿だけを執拗にガスで加熱したが、赤熱しオレンジ色に輝くものの、決して溶けたり穴が開いたりはしなかった。そこで今度は、石英のお皿に鉛を載せて下からガスの炎であぶってみた。石英のお皿はものの二〇秒もたたないうちに赤熱し、オレンジ色に輝き始めた。中の鉛もたちまち熱で沸騰し、白い煙を上げ始めた。黒い鉛が赤熱しオレンジ色に輝い

た瞬間、皿の底がストンと抜け落ちた直後の様子が、写真Bである。実験台の上に落ちた溶融物はやがて冷えると、硬いガラスに戻っていた。

写真Cは当時の日立製作所の社内広報紙に載った技師上原敬二郎さんの姿である。石英板の上に鉛を載せてバーナーで加熱すると石英板が簡単に溶けて、穴が開くことをカメラの前で再現してみせている。この発見がパッシベイテッド・メサという方法を生み出すうえの大きなヒントになったという意味で、当時の社内紙では時の人の一人であった。

特許を買うか独自技術開発か

この「低温処理による酸化膜形成技術」を使えば、プレーナ逃れが可能だと考えたのは生産工場側の技術者たちであった。アメリカの企業に支払う特許料が、コストに占める割合が巨額になりつつあった。独自開発の道を歩むことで、技術的にアメリカ企業の傘から離脱し、彼らに支払う莫大な特許料を節約しようと考えたのである。またプレーナ特許を独占した日本電気に対する意地もあった。

徳山　プレーナ法が登場したとき、工場や事業部の人たちがパッシベイテッド・メサの技術で、プレーナ特許に引っかからないような、新しい表面処理法というものをやろうということになったんですね。一大プロジェクトが組織されましてね。私も参加したんですが、その結果出てきたものがＬＴＰトランジスタと言われているものです。

――低温溶融のための金属は、やはり鉛だったのですか？

徳山　酸化鉛ではなくて、酸化アルミニウムとかリンの酸化物などを使って保護膜をつくりまし

た。これは工場の人たちが、いろんな実験のなかから見出した材料でした。

——工場主導型ですね?

徳山　そうです。私がパッシベイテッド・メサをやっていたときには、まだプレーナ法が登場していませんでしたから、したがってプレーナ特許をいかに逃れるかなんて発想はありませんでした。ですから、そんな思惑はいっさいなくて、ただひたすら不安定で劣化の激しいトランジスタをなんとか安定させ劣化を防ぎたい。その一心で、結晶表面の安定化に取り組んだんです。その結果、パッシベイテッド・メサという方法にたどりついたわけなんです。

——それがプレーナ特許の脅威に対抗する手段に使われた。

徳山　低温処理による表面加工は、その原理をもう少し拡張すれば企業戦略の手段になると、会社側が考えたんですね。プレーナ特許の利点を吸収しながら、特許に触れないようなものがつくれるのではないかとね。こうしてPM法が企業戦略の手段に使われ、LTPトランジスタが生まれたというわけです。

プレーナ特許に対抗する独自技術を開発すべきか、あるいは日本電気にプレーナ特許の使用料を支払ってプレーナ技術に屈するか。この決断には、当時開発部長になる直前だった佐藤興吾さんも深く関わっていた。実質的には、彼の判断が大きな重みをもっていたのである。

工場の総意は独自技術の路線に集約されていたが、世界を席巻していたフェアチャイルドの独占技術に対抗できる技術が、果たして自分たちだけで実現できるのか。佐藤さんの気持ちは、希望と不安の間で揺れ動いたという。

佐藤　当時は部長になる直前だったんですが、ＰＭ法をベースにプレーナ特許に対抗できるトランジスタをつくろうという案には正直自信がもてませんでした。なにせＰＭ法そのものが製造歩留まりは悪いし、特性も安定しなかったんです。それで私は、大変悩みました。われわれはとんでもない間違いを犯そうとしているのではないかとね。そんなとき、ＲＣＡに出張することになりまして、渡米したんです。

――なるほど。

佐藤　私が当時抱えていた問題はプレーナ技術を導入するか、あるいはＰＭ法利用の独自技術でいくか、どちらにするかを決断しなければいけない立場にいたのです。

――特許を買うか、独自技術を開発するかですね。

佐藤　はい。

――独自開発には、反対者はいなかったんですか？

佐藤　反対は山ほどありました。ＰＭ法の延長技術なんか始めたら命とりになりかねないといった意見があったんです。そこでアメリカの事情を調査して来いというので、渡米したんです。

――決断の旅ですね。

佐藤　まずＲＣＡを訪ねまして、ＰＭのデータを見せたんですね。するとＲＣＡの技術者たちは、私を取り囲んで口々に激賞したんですね。向こうの人たちが、文句なくＰＭ法を評価をしてくれた。それで私はすっかり気が楽になって、自信がわいてきたんです。それで、「よしこの技術でやろう」と決心して帰ってきたんです。帰国後そのことを上司に報告して、Ｐ

M法でいきたいと進言しますと、一も二もなくOK。成功も失敗もおまえの責任で生産に入れとね。それで現場は、もう背水の陣で取り組むことになったわけです。

量産体制への歩留まりとの苦闘

こうして、PM法の応用技術としてLTPトランジスタが開発され、量産に移された。しかし実験室で数個のモデルを試作することに成功したことと、それを大量に生産することとはまったく別問題であった。同じ物を、高い品質で、大量につくる生産技術が当時はまだ乏しかったのである。それまではほとんどがアメリカの企業から特許を買い、生産手引き書を貰い、ノウハウを買うことで、ようやく量産が実現できていたのである。独自開発になると、それらをすべて自分で編み出さなければならなかった。

――自主路線で、歩留まりはどれくらいだったのですか?

佐藤　一パーセントから、良くて数パーセントでした。もちろん工業にはなりませんね。それから原価は、計算しても出ないくらいですから。

――死屍累々?

佐藤　本当に死屍累々と言いますけどね。もう歩留まりゼロとか、コンマ何パーセントとか、もう工業じゃないですからね。

――胃がせり上がってくる?

佐藤　胃が痛むなんて、いうようなものじゃないです。もう、そういうのを通り越しているわけ

です。息することもできないわけですから。

——そんなに酷(ひど)いんですか。

佐藤　いちばん困るのはお客様の納期。今月一〇万個納めますと約束しながら、できないわけですね。それも一社じゃない。各社に約束していますから、それはもう激しく突き上げられまして、罵倒は永遠に終わらないかと思うほど大変なものでした。

——何と言って、罵倒されるんですか。

佐藤　独自路線だなんて格好つけやがって、「やってみたら物ができません、納期も守れません」とは、一体なんという言い草だ。

——なるほど。

佐藤　「独自路線でできるというから注文をとって来たのに、今さらできないとは何ごとか、恥を知れ、恥を」と罵られて、われわれは孤立しちゃったわけ。営業サイドは「格好つけないで、もっと確実でつくりやすいものをつくれ」と強硬に主張した。まあ当然ですがね。

——もっとつくりやすいものって？

佐藤　営業はプレーナ特許のことを知ってますから、「プレーナトランジスタをやれ」。

——フェアチャイルドの軍門にくだれ、日電に頭を下げろ。

佐藤　直接そういう言い方をしないにしてもね、言わんとすることは、そういうことですよ。

——激しかったんですね。

佐藤　営業生産連絡会が月に一回あるんですが、まあ、いちばん怒られたのは、当時の課長とか部長ですね。これは酷いものでしたよ。激しく罵倒されました。しかし、私たちは絶対に

部下のせいにはしませんでしたので、やがて会議の様子が工場に伝わる。「うちの課長は断固頑張ったらしい」と。すると現場の若手は、死にものぐるいで頑張る。いわゆる血の滲む努力というやつですよ。そして壁を越えた。彼らとは単なるビジネス仲間というんじゃなくって、一生付き合う本当の同志になりましたね。もう本当の仲間ですね。あのとき若手だった連中が、今じゃいろいろな会社の社長ですからね。

――歩留まりで苦労した体験は、いっぱいあるんでしょうね?

佐藤　私はずっと新製品の量産化を担当してきましたので、山ほどの体験があるんです。

――五大パニックと言いましょうか、被罵倒体験と言いましょうか、そんな例は?

佐藤　そうですね。時代順に並べますと、最初がドット・メサ、二番目パッシベイテッド・メサで、三番目がLTP、四番目が電卓用MOS・LSI、それから通産省の三大プロジェクト。いずれも量産のしはじめは歩留まり一パーセントとか、コンマ何パーセントとか、量産のはじめはそんな状態でしたから。

――なかでも罵倒第一位というと?

佐藤　いちばん営業の皆さんやお客さまから叱られましたのは、パッシベイテッド・メサと続くLTPでしたね。お手本なしの初体験でしたから、量産に失敗すると手の打ちようがないんですね。

――それで責任をとれ、と罵倒された?

佐藤　プレーナという確実な方法があるのに、わざわざ独自に勝手な物をつくるとか言って、今さらできないとは何事だと。もう本当に四面楚歌というのはこういうことですね。味方は

設計部長の伴野さんとか、数少ない仲間たちと若い技術者たち。あとは四面楚歌でした。

――でも動じなかった？

佐藤　こんなことを言っちゃなんですが、それまでにも何度も「これが駄目なら首」ということがございましたから。何回も責任をとれと迫られましてねえ。首がいくらあっても足りないくらい。

――図太くなっていらっしゃった？

佐藤　おかげ様でね。鍛えられましたから。アハハハ。

量産エンジニアリングの試練

工場の管理者たちから集中砲火のような非難をあびながらも、決して怯むことなく後退しなかった。その姿を見て、研究者たちは量産歩留まりを少しでも上げようと必死に努力した。しかし、成果は遅々として上がらなかった。自分の力で生産技術を編み出し、本当の意味で量産体制を築き上げた経験がなかったのである。

徳山　当時のトランジスタの製造と言いますのは、WEとかRCAなどアメリカの先進企業と技術提携して、特許のみならずノウハウも買ってつくっていたんですね。ですから、量産法の詳細を書いた文書、スタンダーダイジング・ノーティスと呼ばれていましたが、ものすごく分厚いテキストが送られてくるんです。図面から何からみんな入っていて、どういう温度でどんなふうにしなさいと、詳細な手ほどきが書いてあるんですね。それを使ってわ

からないことがあると、手紙やテレックスで質問するわけです。

――なるほど。

徳山　私どもより少し年配だった方々など、トランジスタの初期に関わっていらっしゃった先輩諸氏は、WEやRCAに長いこと駐在して、そこの技術をつぶさに見ては報告を送ってくれたんですね。私どもはわからないことが発生すると、駐在の先輩に手紙を出して解決策を聞いてもらいましたが、そういうことで量産ができていたんですね。ですから、工場で実際に物をつくる人たちは、困ればすぐにアメリカに聞けばよかったんです。聞けばある程度の答えは返ってきて、その手ほどきに従ってやっていけば、物はまともにできるという時代が続いていたわけです。

――ところが？

徳山　ところが今度は、アメリカという先生に頼らないで、自分でやろうというのが私たちでした。というより、私が先生にされちゃった。私の考えた技術でつくれるはずだと言ったわけですから。

――ところが？

徳山　ところが、研究所で非常に安定なものができたということと、量産工場で何万個もつくるということはまったく別のことなんですね。技術のスケールでいくと、研究所で何か物ができたというのを一としますと、量産化するにはさらに一〇〇倍ぐらいの努力と情熱が必要なんですね。研究所のエンジニアリングと、工場ラインにおける量産のエンジニアリングはまったく違う。私はそのことを初めて、痛切に思い知らされました。

——何が違うんですか？

徳山　工場では、ちょっとでも未解決なことがあってはいけない。研究所では知らないことがあっても、これから解決すればいいことで、何よりもできたという事実が尊重されるんですが、工場の生産ラインはそんなに甘くない。

——なるほど。

徳山　量産工場では、私はあらゆることに精通していなければ、工場の人たちはどうやっていいかわからない。私も、もちろん必死になっていろいろ対応していくのですが、予期しないことが、予期しないときに、予期しない形で次々と起きてくるんです。

——たとえば？

徳山　あまり細かいことは、もう覚えておりませんけれども、研究所でやった試作は、やはり非常に好条件のもとでつくられた特殊例なんですね。これを条件の悪い工場で量産するとなると、いろんなデータが必要なわけです。たとえば、膜をつくるときに膜圧が少し変わったら一体どうなるのかとか、あらゆる環境を想定した周辺データが沢山必要なわけです。

——研究室では？

徳山　研究室ではそのなかのいちばん良さそうな部分を中心にやっているんですが、実際に工場で物をつくるとなりますと、「ここばかり」というわけにはいきませんから、こっちも、あっちも、という具合にさまざまなケースに対応しなければならなくなるんです。そうするとできる製品の特性は、研究室とは違ったものになってしまうんです。

——たとえば？

徳山　良いものだけをつくれるようにするには、装置から、あるいはガスの流し方から、温度がどのぐらい一定にできるかとか、そういうことといっさいの正確な管理が必要なんですね。これは物をつくるエンジニアリングという立場からすれば当然のことなんですが、当時の日本の半導体産業界には、まだ自分でやる力がなかったわけです。アメリカの規格をそのままもらって、それを解釈して日本に植えつけていくというので、精いっぱいだったわけですから。

――そうすると、ＬＴＰ開発というのは、自分でノウハウを築き上げなければいけない最初のケースの一つだったんですね。

徳山　私はそう思います。ですから、このあたりから他社でも国産技術というものがかなり出はじめてきたと思いますね。

――なるほど。

徳山　しかし、だからこそ当然の結果として、製造歩留まりが一向に上がらない。工場の責任者が本社のほうからずいぶん問責されて、もういいかげんに撤退しなさいと突き上げられた。

――ＬＴＰなんかやめなさいと？

徳山　しかし、走りだしてしまいましたからね。

――それでどうなさったんですか？

徳山　工場のプロジェクト・リーダーの方々は、けっしてくじけなかったですね。それどころか逆に、私ども現場を勇気づけてくださって、本社の幹部に対しては「絶対やってみせるからしばしの猶予を」と説得し、頑張ってくださったんですね。しかし、当時のお金で、多

分一億とか二億円とかの欠損を出したと聞いています。一億や二億は、今ではたいした額ではありませんが、当時は相当大変な額だったんです。その出血に耐えながら、工場幹部の皆さんは最後まで仕上げてくださったんです。ですから当時、工場のリーダーシップをとられた方々の決断と勇気こそが、今日の半導体産業の方向を決定づけたと、私は思っているんです。

――国産技術に対する執念みたいなものですね。

徳山　そうです。それからこの点は強調しておきたいのですが、おそらくあの頃は大体昭和三五年から四〇年にかけて、ちょうど日本の経済基盤ができて「もはや戦後でない」と言われ始めた時代ですね。何事も非常な速さで発展し始めた時期でした。なかでも、エレクトロニクスはこれからの日本の技術の中心であるということで、いろんな面から大変手厚く遇されていましたから。研究費の面でも、研究設備の面でも、国のいろんな補助金とかプロジェクトの面でも、研究環境は非常によかったわけです。

――ああ、そうですか。研究環境が充実していたとは夢にも思いませんでした。常に日本の研究環境は貧しくて、頭脳流出が激しいとばかり思い込んでいたものですから。

徳山　ことにエレクトロニクスについて言えば、今私が申し上げたことは間違いないと思います。

――なるほど。しかし、それだけに荷は重かった?

徳山　もちろんそうです。ですから私たち研究者は大変責任は感じていました。なにしろ、ほかの材料分野の方からすると、半導体というのはいつも桁はずれにお金を持っているということで、同じ研究所のなかでもうらやまれていた時代ですから。そういう意味では、私ど

もとしては大変幸運であったし、その当時よく言われていたような、頭脳流出と言うんでしょうか、日本で仕事ができないから外国へ行くというふうなことも、半導体の世界ではおそらくほとんどなかったと思いますね。

――なーるほど。

徳山　それだけに責任を感じて何が何でも成功しなければいけないと、私たちは頑張ったと思うんです。

日立・武蔵工場の「三事業」完成

日立製作所全体に対する社内広報紙『日立』は、一九六八年（昭和四三年）一〇月号でLTPトランジスタについての大特集を組んだ。そこではLTP技術の意義について、次のように触れている。

「LTPの技術的な価値とともに注目されているもう一つの点は特許料の問題です。現在わが国の電子工業界が海外に支払っている特許料は年ごとに増え、年間一七〇億円から一八〇億円に達していると推定されています。現在ゲルマニウム・トランジスタに関する限り米国のフェアチャイルド社の特許を使わずに製造できていますが、シリコン・トランジスタの大部分は同社の特許を使って製造されています。たとえば日本でICを製造しようとすると、まずウエスタン・エレクトリック社に売上の二パーセント、フェアチャイルド社とその専用実施権をもつ日本電気に対して四・五パーセント、合計六・五パーセントもの莫大な特許料を支払わなければなりません。しかしLTP技術をもつわが社はそれらの大部分を払わなくてすみ、節約できる特許料は年間数億円にも達しているのです。」

日立製作所武蔵工場の社内広報紙『むさし』も、昭和四三年八月にLTP特集号を発行した。この巻頭で、工場長の故伴野正美さんが次のように述べている。「この七月で武蔵工場は創立十周年を迎えました。この十周年を期して武蔵工場では三つの大きな事業が完成されました。従業員の皆様と共に喜びをわかちあいたいと思います。①LTPトランジスタの完成。②生産及び発送の新記録樹立。③日立武蔵女子バレーチームの日本制覇と対ソ連三連勝達成」。

余談になるが当時の半導体工場は、まだ自動化されていなかったために、工程の多くを人手に頼っていた。それらはすべて女子従業員の手に委ねられ、したがって半導体工場はどこも大勢の女子従業員を抱えていた。日立武蔵のバレーチームの偉業は、そうした女性たちのなかから築かれたものだと言われた。半導体工場が自動化を推進するにつれ女子従業員の数は激減し、それとともに女子のバレーのスターチームは他の産業に移っていったという。

広報紙『むさし』のグラビアを飾ったLTP開発グループ。左から3番目が伴野工場長。その隣が徳山氏

徳山巍氏（昭和43年当時）

伴野正美工場長の巻頭言は、次のように締め括られている。「戦後の日本が目をみはるような発展を遂げたのは、お金を払って買ってきた外国技術の上に勤勉な日本人がひたむきな努力を重ねてきた結果であると思います。しかし日本がここまで成長すればもはや外国の技術だけに頼ることができ

なくなります。それは先方も警戒して簡単には技術を売ってくれなくなるからです。これからは我々自身でも有力な新技術を開発して、それを向こうの技術と交換するのでなければ、外国の新しい技術が手に入らなくなり、世界の一流工業国の仲間には入れてもらえない時代が来ると思うのです。独自の新技術、新製品で外国と対等におつきあいできる会社。日立をそのような会社にすることが、これからの私たちに課せられた最も大切な任務だと思います。ＬＴＰトランジスタの完成はその第一歩であり、こんな嬉しいことはありません」。

この特集号の最後のページにはＬＴＰトランジスタを使った製品が紹介されていた。カラーテレビ、ステレオセット、電卓、コンピューター。低雑音、高耐圧、高増幅率と三拍子そろったＬＴＰトランジスタは、非常に応用範囲の広いデバイスとして大量に売れて、さまざまな分野に使われた。そして間もなく、ＬＴＰトランジスタを集積したバイポーラＩＣやＬＳＩの開発へと進んでいくのである。

第2章

国産集積回路の開発

東芝による脱プレーナ技術開発

プレーナ技術を使わないで、プレーナトランジスタと同じ特徴をもつトランジスタをつくることに成功した会社が、日立製作所のほかにもう一社あった。東京芝浦電気である。

ゲルマニウムトランジスタの生産では、他社と肩を並べていた東芝だったが、シリコントランジスタへの転換では、日本電気や日立製作所には後れをとった。経営陣がシリコントランジスタの将来性を見誤り、ゲルマニウムトランジスタにこだわり続けたからである。

重電機中心に発展してきた東芝の首脳陣には、シリコントランジスタの技術が、やがて集積回路に直結していくという認識に欠けていた。シリコントランジスタの研究に着手したのは、昭和三八年(一九六三年)になってからのことである。それはフェアチャイルド社の創始者ロバート・ノイスが、プレーナトランジスタの生産工場を日本に建設したいと来日した翌年のことであった。

そんな東芝がプレーナ技術に対抗できる独自技術に取り組むことになったのは、その時期も経緯も日立製作所とは大きく異なっていた。日立は最初からプレーナ特許に対抗して独自技術を開発しようと意図したのに比べ、東芝はむしろプレーナトランジスタの改良から事が始まった。プレーナトランジスタの雑音をもっと低くしたいと考えたことが発端であった。

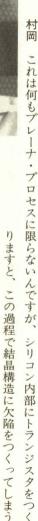
昭和四二年に日立がトランジスタテレビの開発に成功すると、東芝はカラーテレビのIC化を目指した。ところがテレビ用のICは、アナログ回路をプレーナトランジスタで集積することになる。これは雑音がひどくなるという特徴があった。プレーナ・プロセスを施されたシリコンウエハーには、結晶欠陥が生じやすかったからである。前述したように、日立のPM法がプレーナトランジスタの酸

化膜をいったん除去しようと考えた最初の動機とまったく同じ理由であった。これを解決しようと取り組んだ試みが、そのまま脱プレーナ技術への道程になった。

その仕事に取り組んだのが、当時電子事業部半導体材料課で結晶欠陥の改善を担当していた村岡久志さん（六七歳）であった。昭和二三年に東京大学理学部鉱物学科卒。その後大学院に進み昭和二五年に中退。東京大学理学部助手を務めながら日本学術振興会半導体材料委員会委員をも兼務。東芝に入社したのは、昭和三二年のことである。昭和五九年に退社。その後、東芝系専門企業ピュアレックス社を設立。それは放射性同位元素を使って、シリコン結晶の清浄度を超精密に評価する専門会社であった。村岡さんは全人生を通じて、シリコン結晶の研究に従事してきたといって言い過ぎではない。

彼が結晶欠陥の改善に本格的に取り組み始めたのが昭和四二年。それに成功して東芝独自のトランジスタやリニアIC（アナログ回路を集積したIC）をつくれるようになったのが昭和四五年。この仕事に着手した当時のことを、村岡さんは次のように回想する。

村岡久志氏

村岡　これは何もプレーナ・プロセスに限らないんですが、シリコン内部にトランジスタをつくりますと、この過程で結晶構造に欠陥をつくってしまうんです。

——何か具合の悪いことがあるんですか？

村岡　そうしたトランジスタをディジタル装置に使う分には問題はないんですが、アナログ回路に使うと、結晶欠陥のために装置がひどい雑音を発生する。ですから、テレビ用のデバイスとして使うなら、シリコンの結晶欠陥をで

きるだけ少なくしてやる必要がありました。私たちはひたすら結晶の完全性を保ちながら半導体のデバイスをつくる技術を追求したのです。その技術を「Perfect Crystal Technology：完全結晶技術」PCTと呼びました。

——その方法は？

村岡　不純物と一緒に、微量の砒素を加えてやることでした。トランジスタ構造をシリコンにつくり込むには、リンとかボロンといった不純物（伝導物質）を拡散させてやる必要があるんですが、リンとかボロンとかいうのは、元素の大きさがシリコンと違うわけですね。シリコンより小さいものですから、それらの不純物が拡散現象で結晶内部に入り込んで来ると構造に歪みができて、結晶欠陥になって現れるんですね。それならリンやボロンなどの不純物を拡散するときに、シリコンと同じ大きさの元素を微量添加してやれば、縮みがちな構造を押し戻してくれるのではないか。そうすることで結晶には欠陥が生じ難くなり、完全な結晶のままデバイスをつくり込むことができるだろう。私はそう考えたのです。

ところで、シリコン結晶の中にシリコンの原子半径よりも小さな元素と大きな元素を同時に入れてやることで結晶に生ずる歪みをなくそうという方法は、東北大学の西澤潤一博士が既に昭和二七年に発表していた。そうした技術の流れのなかで東芝の村岡さんたちは、アナログ回路をシリコンに集積する必要から完全結晶技術に取り組んだのであった。

——砒素の添加は、拡散をするときにですね。

村岡　拡散もそうなんですが、要するに不純物を添加するときに添加するんです。

——ガス拡散で不純物の添加を行うときは、リンとかボロンのガスと一緒に砒素も加えて流し

てやる。

村岡　そうです、そうです。その技術は非常に微妙で難しいんです。特に問題はご承知のように砒素は猛毒ですから、どうやって身の安全を保つかというのが、大問題でした。

――どうなさったんですか？

村岡　いろんな話がありましてね。カナリアを飼えとかね。

――えっ、カナリア？

村岡　カナリアは毒ガスに敏感で、非常に弱いわけですね。ですから、空気中に砒素が漏れて危険な状態になると、真っ先にカナリアが倒れるだろうから、その時点で手を打てば、人間は助かるだろう。

――カナリアが警報ブザー代わりで。

村岡　実際にカナリアの用意までしたんですけども、カナリアを半導体工場に持ち込むなど言語道断というわけで実現しませんでした。

――どうなさったんですか？

村岡　いろんなことをやって砒素の毒性に対処したんですが、結局は、ＣＶＤ（Chemical Vapor Deposition：気相成長装置）を自主開発したのです。現在では砒素を安全に使えるようになり、超ＬＳＩの製造に沢山使っているわけですが、われわれの時代は砒素の使い初めで命がけでした。

結晶欠陥を改善する新方法

では一体、完全結晶への努力がなぜ脱プレーナ技術につながったのだろうか。結晶欠陥をなくすという情熱がどこで新しい技術を生んだのだろうか。村岡さんの話を要約するとこうである。

結晶欠陥を改善する方法として、砒素のガスを扱うことになった。砒素のガスは、猛毒で作業の安全を確保しようと考えた。最初はカナリアを警報代わりに使うことを考えたが、それができなかった。そこでCVD装置を自主開発した。ポイントは、このCVD装置。このCVD装置を使うようになって、東芝独自のトランジスタが開発できたというのである。

CVD装置のことは、日立のLTPトランジスタ開発過程でも登場した。徳山巍さんが、メサトランジスタの結晶表面に、あとから酸化膜をつけるために自作した装置である。石英管の中に二酸化シリコンの蒸気を流しておき、その中にシリコンウエハーを入れて加熱すると、ウエハー表面に二酸化シリコンの膜が成長した。つまりCVD装置は簡単に言えば、シリコンウエハーの表面に酸化膜を堆積させる道具であった。

さて、ここで二酸化シリコンのガスに微量のリンとかボロンなどを混ぜて流すと、リンやボロンなどの伝導物質(不純物)を含んだ酸化膜がシリコンの表面に堆積する。これを今度は拡散可能な高温で熱すると酸化膜に含まれている伝導物質が、下のシリコン結晶に拡散していくのである。CVD装置で伝導物質含みの酸化膜を結晶表面につけるというのが、ポイントであった。

村岡　プレーナ・プロセスは最初につくった熱酸化膜を残すという点に最大の特徴がありました。一方、私たちのプロセスには二つのタイプがあるのですが、その一つについて言えば、最

初から熱酸化膜をつけるという方法をとらなかったんです。

——言葉だけじゃ理解できませんね。

村岡　じゃ図解しましょう(次ページ参照)。図4のA-1~5がプレーナトランジスタのつくり方で、図5のB-1~5がPCTトランジスタのつくり方です。PCTトランジスタにはもう一つ別のつくり方があるんですが、プレーナとの違いをわかってもらうには、このタイプが理解しやすいと思いますので、これで説明しましょう。

——お願いします。

村岡　図4のAのプレーナ法ではまず熱酸化膜でシリコン表面を覆って、そのあとで必要なところに窓を開け、そこから不純物を拡散する。

——はい。

村岡　しかし、われわれは窓を開けるんじゃなくて、図5のBのように不純物を含んだ酸化膜の島をつくって、その島から不純物を拡散したんです。

わかりやすいように要約してみよう。ここで例に引いているケースは、ともにNPN型のトランジスタの製造工程である。したがって、いずれも用意するシリコンはN型不純物が添加されたN型シリコンである。それを図示したのが図4のA-1と図5のB-1。これに双方のつくり方でトランジスタ構造をつくり込んでいく。図4・5の同じ番号同士を比較しながら見ていくと理解しやすい。

まず図4のA-2と図5のB-2に注目。プレーナ・プロセスの図Aではシリコン表面に熱酸化膜をつけている。すでに何度も解説したように、不活性ガスに水蒸気を混ぜて一〇〇〇度を超える高い温度で熱すると、シリコン表面に丈夫で厚い酸化膜ができる。これを熱酸化膜と呼ぶのだが、図4のA

図5　B-1　N型シリコン

図5　B-2　CVD装置でボロンを含んだ低温酸化膜をつける

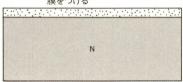



図5　B-3　フォトエッチングで島をつくる

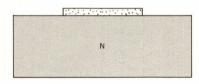



図5　B-4　酸化炉で熱酸化膜をつける

図5　B-5　ボロンを熱拡散させる

図4　A-1　N型シリコン

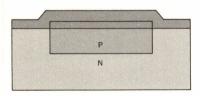
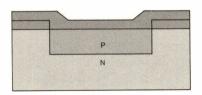



図4　A-2　酸化炉で熱酸化膜をつける

図4　A-3　フォトエッチングで窓を開ける

図4　A-4　拡散炉でボロンを拡散させる

図4　A-5　酸化炉で熱酸化膜をつける

-2はそれを形成させる工程である。

左隣の図5のB-2に目を転じてみよう。これはPCTトランジスタの最初の工程だが、ここではCVD装置でボロン含みの低温酸化膜をつけている。二酸化シリコンのガスと微量のボロンガスを炉の中に流しておき、そこにシリコンウエハーを入れ数百度という低温で加熱。すると、シリコン表面にボロンを含んだ酸化膜が堆積する。

次の工程が双方ともフォトエッチングになるが、ここで注目すべきは、図4のA-3では不純物を拡散するための窓を開けているのに対して、図5のB-3では低温酸化膜の両端を除去して中央に島をつくっていることである。これがボロン拡散用の島である。ボロンを含んだ低温酸化膜を高熱炉に入れて加熱すると、脆弱な低温酸化膜が高密度の丈夫な酸化膜に転化し、同時にボロンが、下のシリコン結晶に拡散していくという寸法である。

図4のA-4はフォトエッチングで、酸化膜に開いた窓からボロンを拡散する拡散工程である。窓が開きシリコンの地肌が顔を出したところで、ボロンガスの流れる拡散炉に入れて加熱すると、ボロンが窓からシリコンの内部に拡散していく。左隣の図5のB-4を見ると、PCTトランジスタの工程では、この段階で初めて熱酸化膜を形成させている。その方法は例によって、不活性ガスと水蒸気の流れる酸化炉で高熱酸化をさせるのである。

図4のA-5に目を転ずると、プレーナ・プロセスでは再びここで厚い熱酸化膜を付着させることになる。すでにつくり込んだP型層をいったん酸化膜で覆って、後の工程で再び窓を開け、今度はそこからN型不純物を拡散させるのである。こうしてトランジスタ構造を酸化膜の下に格納するのが、プレーナトランジスタの特徴であった。

隣の図5のB-5を見ると、PCTトランジスタでは前工程で厚い酸化膜で覆われたシリコンウエハーを高熱炉に入れて熱している。熱酸化膜の下にはボロンを含んだ低温酸化膜が密封されており、それが高い温度で加熱されると、ボロンが下のシリコン結晶に拡散していくという寸法である。こうしてPCTトランジスタの場合も、プレーナトランジスタ同様に、丈夫な酸化膜の下にP型層がつくり込まれたことになる。

次の工程でフォトエッチングで酸化膜に窓を開け、今度はリンを含ませた低温酸化膜をCVD装置で積み上げて、熱酸化膜をつけ、高熱炉で加熱すると、P型層の真ん中のN型層がつくり込まれる。こうしてプレーナトランジスタとはまったく異なる工程をとりながら、プレーナトランジスタと同じものができたのである。

このPCTトランジスタの場合、基板に使うシリコン結晶として、無転移の完全結晶に近いシリコンを使ったために、非常に雑音の低いアナログ回路の装置に適したトランジスタになった。特にこれを集積回路に搭載するときには威力を発揮した。シリコン基板の表面にエピタキシャル技術で薄いシリコン層をつくり、その薄膜層の中にトランジスタを集積するのだが、基板が無転移の完全結晶であったために、その上に成長するシリコン層も構造欠陥のない優れた結晶ができたのである。

――なーるほど。確かに全然違うんですね。

村岡　全然違うんです。

――そうすると、完全にプレーナ逃れができた？

村岡　できました。

――やっぱり、当時はプレーナ特許をいかに乗り越えるかという議論をなさった？

村岡　大変重要なテーマでした。プレーナ特許に抵触しない技術を開発しようというのがわれわれ全体の目標でした。当時、私は半導体開発事業でプロセスを担当していたものですから、プレーナ・プロセスとは違ったトランジスタを開発する責任がありまして、先ほど説明したような「拡散用の島」を考えたわけです。私が「拡散用の島」を考え、具体的な構造や特許上の抵触を避けるための工夫は製品側の連中が考えました。ですから、いわばプロセスも製品も、みんなが全員一丸となってやったというのが正確だと思います。

中巻で詳細に見た通り、フェアチャイルド社の天才たちは艱難辛苦（かんなんしんく）の末にプレーナ構造を生み出し、それが汚染に対して絶対的な強みを発揮するばかりか、集積回路の実用化に必要不可欠な技術であることを証明した。その途端、あとを追う日本の技術者たちは、別の方法で同じ構造のトランジスタを考案したばかりか、ある面ではプレーナトランジスタより優れた技術を生み出したのである。自らは歴史の流れを変えるほどの技術を生み出せないけれども、いったん方向が明確になり標的が決まると、またたく間にオリジナル技術に迫り越えていく。これが日本的技術の特徴であった。

しかし半導体史上に革命をもたらしたのは、明らかにプレーナ法であった。あとは保護膜がシリコン酸化膜だろうとLTPだろうと、結晶欠陥があろうとなかろうと、保護膜の下にトランジスタ構造をすべて格納し、電極だけを保護膜の上に出すという点ではプレーナトランジスタと同じ思想の上に立脚していた。

だが特許法上では、それで別の技術として認定され会社の危機が回避されたのである。

▨ 宇宙開発競争のための新型電子機器

一九五〇年代の後半から六〇年代の初頭にかけて、シリコントランジスタの技術が次々と生まれた。高純度シリコンの製造。シリコン単結晶の引き上げ。二重拡散法の確立。シリコン酸化膜の発見。フォトエッチングの考案。メサトランジスタの発明。プレーナトランジスタの成功。このプレーナ・プロセスの上に、実用的な集積回路をつくる方法が築かれた。

トランジスタ構造のすべてを酸化膜の下に格納し、酸化膜下のPN各層から電極だけを酸化膜表面に表出させるために、酸化膜にコンタクトホール（配線用通路）を開けるという方法は、プレーナトランジスタの工法上の特徴の一つであった。これを考案したのはフェアチャイルド社のジーン・ハーニーであった。試作に成功したのが、一九五九年（昭和三四年）のことである。

同じ技術を使えば、シリコンチップの中に単にトランジスタのみならず、電子回路をつくり込むことができるのではないかと考えたのは、同じフェアチャイルド社のロバート・ノイスであった。酸化膜の下に複数のトランジスタや抵抗コンデンサーなど他の部品群をつくり込み、それらをプレーナ法と同じようにコンタクトホール（配線用通路）で酸化膜上の金属配線と結んでやれば、シリコン内部に機能回路を搭載できると考えた。

問題はシリコン内部につくったトランジスタ同士を、どうやって電気的独立性を維持するかということであった。これを解決するためにノイスが考えたことは、隣接するトランジスタとトランジスタの間に伝導物質（不純物）を拡散させ、P型領域とかN型領域といった電気的な障壁をつくってやれば解決できるということであった。トランジスタとトランジスタの隣接部にPN接合の壁をつくってや

ることで絶縁を行うという、「接合隔離」を考案したのである。

しかし、これを量産工程のなかで実現できるまでには、失敗に次ぐ失敗が繰り返された。接合隔離のための不純物拡散を施そうとすると、シリコン基板が厚いために、高熱長時間の拡散をしなければならず、しばしば、拡散炉が溶けて曲がるほどであった。

接合隔離が量産工程のなかで実用化できたのは、集積回路にエピタキシャル技術を採用してからである。それはシリコン結晶の上に、新たなシリコンの単結晶層を成長させる技術であった。シリコン基板の上に数ミクロンの新しいシリコン層を成長させ、その中に集積回路をつくることで接合隔離のための拡散作業が非常に容易になり、したがって量産が可能になった。一九六一年(昭和三六年)のことである。

ところで集積回路の概念を最初に提案したのは、英国王立レーダー研究所のダマー(G.W.A.Dummer)であった。一九五二年(昭和二七年)にワシントンで開催されたＥＣＣ(Electric Components Conference : 電子機器会議)で、電子装置を固体素子の中につくることが可能だと説いたのである。しかし、ダマーが実際につくったのは概念模型の域を出なかった。

その五年後、一九五七年(昭和三二年)にソ連が打ち上げに成功した人工衛星スプートニクは、アメリカ国防総省に大きな衝撃を与えた。衛星軌道に衛星を打ち上げることができるということは、ロケットの優位性と核攻撃能力を証明するものだと考えたからである。これに対抗するにはロケットの開発は当然として、ロケットに搭載する新型電子機器の開発が不可欠だと空軍は考えたのである。

絶対優位の電子技術でソ連の脅威に対抗したいと焦った米空軍は、従来の常識とは隔絶した超技術を求めた。これに応じたのが、モレキュラー・エレクトロニクスに取り組んでいた巨大企業のウエス

チングハウス社であった。モレクトロニクスと称して、社運をかけて開発研究したのである。

モレクトロニクスは分子の基本構造を研究して、シリコン以外にもいろいろな機能素子を発掘して装置の超小型化を図ろうというアイディアであったが、これは半導体技術が過去蓄積してきた理論や体験をまったく無視する荒唐無稽とも言える空論にすぎなかった。しかし、空軍はモレキュラー・エレクトロニクスに傾倒し、ウエスチングハウス社に莫大な資金援助をするのだが、成果が何一つ出てこなかった。

集積回路を最初に試作したのはテキサス・インスツルメンツ（TI）社のジャック・キルビーであった。メサトランジスタの量産ウエハーから、トランジスタの周辺部を切りだした。チップに搭載されたメサトランジスタはそのまま流用し、基板のゲルマニウムのある部分を抵抗器として使い、ある部分をコンデンサーとして使った。それらの端子を金線で接続して、発振器として動作させることに成功したのである。一九五八年（昭和三三年）のことであった。

TI社はこれを「ソリッドサーキット：固体回路」と命名して、空軍に対し実験の公開をするのである。公開実験に立ち会った空軍官僚は、モレクトロニクスを放棄し、固体回路の援助を決意する。翌一九五九年（昭和三四年）、TI社はミニットマンミサイル用にソリッドサーキットを使った超小型コンピューターを試作するが（中巻二三九ページの写真）、それにはモレキュラー・エレクトロニクス・コンピューターと表示してあった。資金援助と引き換えにTI社は、モレキュラー・エレクトロニクス研究の成果の一つがソリッドサーキットだと発表することを認めたのである。こうしてTI社は開発費用を手にし、空軍は面子を失わずに済んだというわけである。

こうした情報を日本の企業のなかで最も的確につかんでいたのが、日本電気であった。プレーナ特

許の独占使用権を買ったことで、フェアチャイルド社と深い関係ができたこと。加えて、そこのリーダーであるロバート・ノイスと長船廣衛さんの間に個人的な親交があったことが役に立ったようである。また技術提携をしたゼネラル・エレクトリック（GE）社が、アメリカの既存企業のなかでもIC時代までしぶとく生き残った会社であったことも幸いした。

――日本電気の場合は、IC情報もロバート・ノイスあたりから入ってきたんですか？

長船 いいえ、ICはノイスではありませんでした。アーニー・レスクというGEのエンジニアが、「これからはIC時代になるよ」と教えてくれたんです。それで僕は昭和三四年の終わり頃から、一生懸命にICをやらせたんです。昭和三五年には試作品まで、こぎつけましたがね。

――キルビーとか、ノイスのICの後ですね。

長船 キルビーはメサ型でICをつくったんですが、これは欠陥だらけのICでしてね。本当に役に立つICは、ノイスのところで開発したんです。キルビーが最初にICをつくったのが一九五八年、つまり昭和三三年でしたから、私たちは彼らの二年後だったと思います。

――ロバート・ノイスから、IC技術を教えてもらったわけじゃないんでしょう？

長船 ええ、でもなんとなく匂ってくるんですよ、彼らがやっている方向が。ことに、ロバート・ノイスと話していると、技術の方向が伝わってくるんです。それで私も、自分なりの考えでそっちの方向に走るんですね。

――で、走った方向が当たっていました？

長船 ええ全部、ドンピシャリ。

――ボブ・ノイスさまさまですね。

長船　そう、さまさまでした。ところがね、肝心のときに私が入院しちゃってね。

――ＩＣ時代の幕開きというときに。

長船　そうなんですよ。昭和三五年に。ＩＣは昭和三四年から研究を始めていたんですが、企業として新しいことをやる体制になってなかった。そこで僕はＩＣ生産へのスケジュールをひそかに立てていたんです。どの期間に、どの程度の投資をして、どんな人材を集めて、どんなプログラムを実施していくかといったスケジュールをね。

――さすが半導体の長船さんですね。

長船　これは何か新しいことをやろうとするとき、企業としては当然のことなんですが、大事なときに僕が体を壊して半年も入院してしまった。ですから、病院に見舞いに来る人ごとにそれを説いてね。「私のいない間に進めるべきことを進めてください」と上の人に頼んだんですが、だれもが「いいから、いいから、心配するな」と、私の頭をなでて帰っていくんですね。返事ばかり調子良くて。それで僕は心配で、心配でね。一二月の一四日に退院して、一五日の朝ここに駆けつけてみたんです。

――ああ、この玉川工場に？

長船　ええ、そうしたら、なーんにもやっていないんです。それで僕はカンカンになって怒りましてね。即刻主任を呼んで「おまえは今日から課長の仕事をやれ」って、臨時班を組織して、遅れ馳せながらＩＣの本格的な研究に着手させたんです。

――それほどＩＣに乗り遅れることに、危機感をもっていたんですか？

長船　僕はもっていた。ＩＣで今一日後れをとると、後々取り返しがつかないことになると考え

ていました。

――競争に生き残れなくなる?

長船　ええ、ことにアメリカとの競争にね。技術格差が開きすぎて。

すでに見てきたように、集積回路の開発競争は西海岸の新興企業フェアチャイルド・セミコンダクタ社とテキサス州ダラスのTI社の間で繰り広げられた。

ところが、激しい開発競争の過程で生み出した彼らの技術は、多くが軍事機密として、厳重に秘匿され日本に伝わることが少なかった。

もちろん日本企業は技術提携先のアメリカ企業から情報を収集したが、提携先の企業が取り組んでいる技術に関しては概要がつかめても、アメリカにおける開発の全貌は知り難かった。そのうえ提携先の多くが既存の大企業であり、それらはやがて集積回路の開発で、ことごとく新興企業に敗退していくのである。

したがって、プレーナ特許の独占使用権をフェアチャイルド社から買っていた日本電気だけは例外としても、多くの日本企業にとっては、集積回路開発の全貌は最もつかみにくい情報の一つであった。

■国産第一号のICを開発

しかも、当然のことながら日本電気が知りえた情報は重大な企業機密であり、絶対に外部に出てくることはなかった。閉鎖的な技術情報を公的立場で打開する役目を負っていたのが、通産省工業技術院の電気試験所であった。自ら試作研究をし、その結果を公開することで半導体技術の一般的な水準

通産省工業技術院、電気試験所のトランジスタ研究室のメンバー（左から傳田精一・垂井康夫・菊池誠の各氏）

を上げていくのが仕事であった。当時電気試験所の電子部部品課トランジスタ研究室の研究員だった傳田精一さん（現在コニカ常務取締役）が、当時の様子を次のように回想している。

傳田　昭和三五年当時、電気試験所では菊池誠さんが研究室主任でした。その頃初めてICができたというレポートが、向こうの『エレクトロニクス』という本に載ったわけです。ただ、これは非常に哲学的な話で、はっきり言って、最初見たときに何を言っているのかさっぱりわからなかったんです。

――チンプンカンプンで？

傳田　その頃は部品の集積という概念は、まったくありませんでした。「集積」という言葉すらなかったと思いますね。一つ一つの部品があって、それらをつなげれば電子回路ができる。

それらをつなぎあわせれば装置ができる。これだけの概念でしたからね。電子回路というものは、厳として線をつないでつくるものだと思っていた。ですから、その論文は実はその線をつながないでつくろうじゃないかというアイディアを提唱したんですね。これが当時の私たちには、あまりにも哲学的で理解を超えていた。

――なるほど。

傳田　論旨は電子部品を使わなくてもいいじゃないか、入口と出口でこういう働きができれば、何でもいいじゃないかという提案だったのですが、われわれにはわからない。何を言っているか、まったくわからない。それで軽く見過ごしていたんですが、当時の菊池誠さんが「どうもおかしい。これは何か新しいことを言っているんじゃなかろうか。ちょっと見過ごすわけにはいかないんじゃないか」とおっしゃった。特に半導体屋としては、これは何かすばらしいものになりそうな気がすると言ったんですね。これは大事なことだったと思うんですね。それで、とにかく何かチャレンジしてみようじゃないかということになりまして、垂井康夫さんと私で計画したのが、国産第一号のICになったわけです。

前ページの写真は国産ICの開発に関わったメンバーを撮影したものである。右から、当時電気試験所電子部部品課トランジスタ研究室の室長であった菊池誠さん（ソニー中央研究所長を経て現在顧問、六六歳）、中央が同じ課の主任研究員であった垂井康夫さん（現在東京農工大教授、六二歳）、左が傳田精一さんである。何はともあれ、まず取り組むべきだと主張したのが菊池誠さん。わずかな手掛かりをもとにソリッドサーキットなるものの内容を推定しながら、自作してみることを提唱したのは、垂井康夫さんであったという。実際に試作を担当したのは、先の傳田さんと、垂井康夫さんである。

――ＩＣの情報を最初に目にされたのは、どういう雑誌の何月号のどういう記事でしたか？

垂井　それがちょっとはっきりしないんですが、確かＴＩ社の記事じゃなくて、ウエスチングハウスのニュースだったような気がしますね。ウエスチングハウスがモレクトロニクスという名前で、ＴＩ社とは別のＩＣをつくっていたんですね。そのニュースが先に入ったような気がします。

――そのニュースをご覧になって、皆さんはどういうお話し合いをなさったんですか。

垂井　私はこれこそが将来の方式だから、ぜひやろうと主張しました。

――なぜ、そうお感じになったのですか？

垂井　それは私がハイブリッドＩＣの特許を、二年前に取っていたからです。

――なるほど、なるほど。

垂井　そんなわけで私も、一つの結晶に沢山の部品を入れていこうと考え始めていましたので、私はＩＣは当然の方向だと思っていたんです。そこにＩＣができたというニュースが入りまして、その頃ＩＣとは言いませんで、ソリッドサーキットとか固体回路と呼んでいましたけれども、ソリッドサーキットができたというニュースに接したんです。

――ＴＩ社のソリッドサーキットですか。

垂井　そのニュースに関しては、情報が非常に不足しておりました。何か固体の中で回路がつくり込まれたということだけでした。先ほど言いましたように、私自身がそれを目指していましたので、これはやっぱり重要であると私が主張しまして、試作を始めることになったんです。

――なるほど、なるほど。

垂井さんがすでに特許を取っていたという「ハイブリッドＩＣ」というのは、抵抗器やコンデンサーなどトランジスタを除く部品だけを半導体チップにつくり込み、それにトランジスタ単体を載せて配線したものである。このハイブリッドに対して、部品群のみならず配線もトランジスタも、すべてを同一シリコンチップの中につくり込んで一つの装置にしたものを、「モノリシックＩＣ」と言った。ハイブリッドＩＣは現在も用途によっては使われているが、最も多く使われているのが「モノリシックＩＣ」である。

――垂井さんと傳田さんがおつくりになった国産初のＩＣというのは、どんなＩＣだったんですか？

傳田　今のＩＣとはまったく違うＩＣなんですが、回路を集積化して一つのパッケージの中に入れるという点だけは忠実に守って、その面では成功なんですけどね。

――なるほど。

傳田　最初、何をつくろうかいろいろ議論したんですけれども、マルチ・バイブレーターという自励発振器をつくることにしました。外から刺激されなくても、自分で発振する装置を集積することにしたんです。

――なるほど。

傳田　実は、ある回路が働いているということを示すのは、なかなか難しいんですね。それでいちばんわかりやすいのが発振回路なんですね。発振器に電池をつなぐだけで、出力端子に交流信号が出てくるんですから。

——直流を入れると、交流が出てくる。

傳田　そうです。出力信号をブラウン管オシログラフの入力端子につないでやると、画面に波の形がはっきり出てきますから、動いてるなということが目で見てわかるわけですね。回路が生きているという感じが非常に強いんです。それで自励発振器をつくろうとしたわけです。

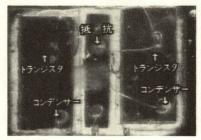
——どんなトランジスタを何個と、どんな部品をどのように集積したんですか？

傳田　今にして言えば、ハイブリッドＩＣに相当すると思うんですが、トランジスタが二個、抵抗器が四本、コンデンサーが二本、それだけを一センチ角ぐらいの入れ物の中に組み込んだというわけです。

——トランジスタはゲルマニウムでしたか、シリコンでしたか？

傳田　ゲルマニウムでした。

国産集積回路の構造とその工程

次ページの写真Ａはお二人が自作した国産初の集積回路で、写真Ｂがそれをさらに拡大したものである。二個のトランジスタ、四個の抵抗器、二個のコンデンサーを図６のような寸法の中に格納してある。数字の単位はミリである。したがって幅一三ミリ、高さ一〇ミリ、厚さ四ミリのエポシキ樹脂の中に、図７のような発振装置を内蔵した。端子Ｂに電池のプラスをつなぎ、Ｅにマイナスをつなぐと、コレクター端子C_1とコレクター端子C_2にパルス信号が発生する。

B　集積回路の拡大図

A　国産初の集積回路

図8　国産初の集積回路の構造図
（傳田精一氏のスケッチ）

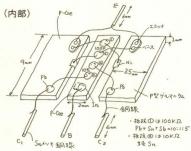



図6　集積回路の寸法

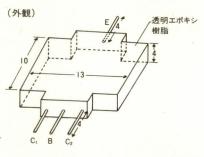
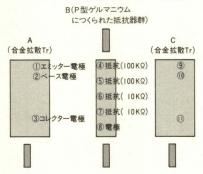
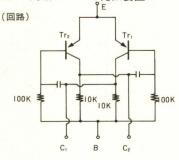



図9　国産初の集積回路の分解構造図

図7　内蔵されている発振装置

多少マニアックになるが、構造を説明しておこう。図8は傳田さんがスケッチしてくれた構造図である。これをさらに図9のように三つの部分に分解して解説しよう。いずれもゲルマニウムの小さな基板である。

左側にある基板をA、中央の基板をB、右側の基板をCとする。AとCはいずれも長さ九ミリ、短辺三・五ミリ、厚さ一ミリのゲルマニウムのペレットで、そこには合金拡散型トランジスタがつくられている。A①とC⑨は、N型層につながるエミッタ電極。A②とC⑩は、P型層につながるベース電極。A③とC⑪は、N型ゲルマニウムの基板に設置されたコレクター電極である。

ここで注目すべきは、NPNに各層につながる電極がすべて表に出ていることである。合金型トランジスタの場合は、N型ゲルマニウムのペレットをインジウム(P型)で挟んで合金炉で加熱し、両面にインジウム合金をつくることで結晶内部にP型層を形成させた。したがって電極は、必然的にゲルマニウムの両面に設置せざるをえなかった。これでは回路集積がやりにくくなる。そこで考えたのが、図10(次ページ)のような方法であった。

まずゲルマニウム基板そのものに電極③をつける方法から説明すると、これは鉛の粒をゲルマニウム基板に載せて合金炉で熱すると、ゲルマニウム表面で鉛が溶け合って突起になる。これがコレクター電極である。

次にエミッター(N型層)電極①と、ベース(P型層)電極②を取り出す方法を説明しよう。①はP型物質インジウム(In)と、N型物質アンチモン(Sb)の合金。②は鉛とN型物質アンチモン(Sb)の合金である。この二つの合金をゲルマニウム基板の上に隣接させて合金炉で熱すると、合金①からはまず最初にN型物質アンチモン(Sb)が結晶と溶け合ってアンチモン(Sb)の合金層をつくり、N型層を

図10　P型ゲルマニウム板上のトランジスタ構造〈合金拡散型トランジスタ〉
（傳田精一氏のスケッチ）

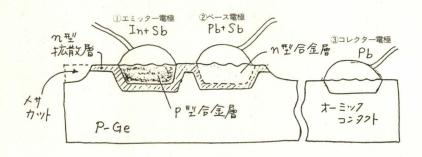
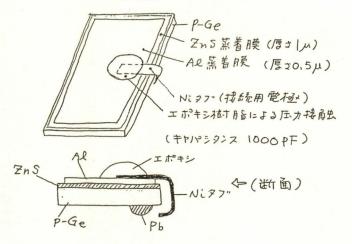



図11　P型ゲルマニウム板の裏面構造〈コンデンサー〉（傳田精一氏のスケッチ）

形成する。斜線の部分である。

続いてP型物質インジウム（In）が、P型合金層をつくる。図11では黒くぬりつぶした部分である。一方、隣の合金②からはN型物質アンチモン（Sb）が、N型合金層をつくり出す。斜線部分である。これが隣の斜線部分、つまりN型合金層とつながってしまう。これで合金①で、結晶内部につくり込んだ斜線部分（N型層）が、合金②でつくった斜線部分（N型層）と結合したことになる。その斜線部分は、合金②に接している。だから合金①の下にできているN型層を合金②によって、電極として取り出すことができた。こうしてPNP三層につながる電極のすべてを、ゲルマニウムの表側に設置することが可能になった。実際の工程では、P型ゲルマニウムの上に合金①と合金②を近接させて置き、離れた場所に鉛の粒③を載せて、そのまま合金炉に入れて加熱すると、ゲルマニウムの合金拡散トランジスタAが完成する。①②③をゲルマニウム上に精密に設置するために、グラファイト製の治具を使う。トランジスタCも同様である。

さて再び図9に戻って、中央のB基板について見ると、これもP型ゲルマニウムの基板で、そこには四つの抵抗器がつくり込まれている。④⑤が抵抗値一〇〇キロオーム、⑥⑦が一〇キロオームの抵抗器の端子である。⑧は四つの抵抗器の共通端子で、P型ゲルマニウムの基板につながっている。

抵抗器のつくり方はこうである。鉛（Pb）とインジウム（In）と錫（Sn）の合金をP型ゲルマニウムの上に載せて炉で加熱すると、結晶の中にPN接合ができて特性の悪いダイオードになる。これはダイオードとしては役に立たないが、抵抗値の高い抵抗器としては使うことができる。抵抗値は、金属の混合比率で変えてやればよい。

最後にコンデンサーについて触れる。コンデンサーは二枚の金属面が絶縁層を挟んで向かい合って

いる構造である。そこで図11のように、まずゲルマニウムの裏側に硫化亜鉛（ZnS）を蒸着させる。硫化物は絶縁物だから、薄い絶縁膜ができたことになる。その厚さが約一ミクロン（一〇〇〇分の一ミリ）。この上に今度はアルミニウムの薄膜を蒸着させると、アルミニウムとゲルマニウムの面が、硫化物という絶縁膜をサンドイッチ状に挟み合わせたことになる。これはまぎれもなくコンデンサーの構造そのものである。ただアルミ膜にはハンダづけができないので、配線用の端子はニッケルの板を、エポキシ樹脂で圧力接触させるという方法を採用した。

——量産はしたんですか？

傳田　まったくしませんでした。まあ研究所ですし、これはもちろん売る相手はいませんし、研究所というのはたかだかつくっても一〇〇個つくればいいわけなんで、そのためにいろんな技術を開発し、それを発表するのが目的ですからね。ですから、これを生産するとなるといろんな問題が起こったと思います。ただし、当時のＩＣというのは三菱電機さんも含めて、生産がきわめて困難な構造だったんです。試作だけはできて一応は動くが、量をつくってある値段でよそに売るなんていうことは、絶対にできなかったと思います。

——ＩＣに電池をつなぎ、出力を、オシロスコープにつないだ瞬間はいかがでした？

傳田　実は一〇〇個ぐらいつくったんですが、最初のうちはほとんど動かなかったんです。

——えっ一〇〇個も。

傳田　そうなんです。やっと百何個目かにオシロスコープの画面に矩形波が現れたんですね。それまではＩＣの電源端子に電池をつなぎ、出力端子をオシロスコープの入力端子につないですが、まったく変化なし。オシログラフの画面には、横線が一本ピーンと現れるだけ

で発振器は働いていない。死んでるわけですね。それが今度は、画面の一本線が矩形波になって現れるんです。

——棒グラフのようなパルス信号の波形ですね。

傳田　そうそう、パルスです。

——百何個目でしたか、それは。

傳田　正確に百何個目だったかは忘れましたが、もう駄目かとあきらめかけていたんです。ですから、オシログラフに矩形波が出たときはうれしかったですよ。試験所の皆さんが、見てましたからね。ややドラマ風に言えば、握手したりワアワア言ったり、一同大変に興奮したものです。

——当時は一度に何個つくったんですか？

傳田　治具が大きくありませんでしたから、私がやったのはロットではせいぜい五、六個単位でつくってはテストしたんです。

——すると、成功は二〇回目ぐらいの試作だったわけですね。

傳田　そういうことになりますね。配線の終わったものを、樹脂封じにして固まったものからテストしたんです。

——なるほど。

傳田　ところが樹脂が固まるまでには相当な時間がかかりまして、ずっと時間をおかないと固まらないわけです。樹脂がくっつかない型枠をつくって、その中にＩＣを入れて、上から樹脂を流し込んで十数時間待つんです。最初のうちはそのへんもわからなくて、充分固まら

ないうちに出してグニャッと折れたり、つぶれたり、線が抜けたりで、非常に初歩的なミスを何回もしたわけです。

――なるほど。

傳田　最初の樹脂が非常に収縮性の強い樹脂だったもんですから、縮まると二割ぐらい小さくなってしまうんです、ギュッと。そうすると、中のリード線がみんな切れちゃうわけです。やっと固まったから、さあテストという段になってよく見ると、線が切れてオシャカになっていた。

――保護するために樹脂封じにしたのに、破壊損傷の原因になった。

傳田　ええ、中が破壊されちゃうわけです。これじゃあ困るので、樹脂を何回も何回も取り替えて収縮性の少ない樹脂を選んだんですが、これもデータがなくて、相当な日時を空費しましてね。

――樹脂で固める前に、テストするというわけにいかないんですか。

傳田　固める前に電気的試験をするのは、ほとんど不可能でした。部品相互をやわらかい細い線でつないでありますから。言うなれば生まれたての赤ん坊と同じで、デリケートなものなんです。下手に動かすだけで壊れちゃうんですよ。ですから、はっきり言って、これは私しか持てなかった。

――それで、型に入れて樹脂を流し込んで、固まってからいじるというわけですね？

傳田　そういうことですね。実は樹脂にも尽きない話が山ほどあるんです。

――ほう。

傳田　できたということで、また、喜んで帰るでしょ（笑）。祝杯をあげて帰ると、翌朝には死んでるんです、全部が。

——せっかくのＩＣが……。

傳田　そうなんです。樹脂の中の不純物が浸み出して、中のＩＣを駄目にする。ひどいもので、樹脂をかぶせて数時間で死んでしまうんですね。つまり収縮性の少ない樹脂を選ぶと、今度は不純物が多いんですね。収縮率を抑えるためにさまざまな不純物を入れて、収縮をしないようにしているんですね。あちら立てればこちらが立たずで、収縮性と純粋性とは矛盾するわけです。そういったわけで、いちばん良い樹脂を選び出すために大変な時間がかかってしまった。それでも、動作したＩＣが一週間もたなかったと思いますね。

——じゃあ、結局は全滅ですか？

傳田　そうです。全滅です。劣化しちゃって……。

——それじゃ、一週間の寿命ですか？

傳田　ええ。しかし、たとえ一週間の寿命でも、できたということが重要なんです。できて一日動いたら、それでいいんです。このときは。一週間で死んでも、それは三日目には新聞に出ましたから、ちゃんと動いている状態でね（笑）。五日後には全部死んでんですがね。ただここまでたどりつければ、次につくれと言われればつくれるし、樹脂さえ選べば、良いのはできるということは大体わかりますからね。

——今の樹脂にまつわる話ですが、ＩＣ開発のなかでは、これだけで歴史が書けるくらい重要な技術だったようですね。

傳田　そうなんですね。樹脂の開発史というのも悪戦苦闘の連続でして、物理的性能と電気的性能の両方が良くなくてはならないんですね。硬軟、伸縮、吸水、といった物理的性質と並んで、どんな伝導性物質がどれだけ含まれているかといった電気的特性が大事なんですね。相矛盾する要因をいかにして、解決するか、これはきわめて困難なことでした。でも日本の樹脂メーカーはそれらを克服して、相当良いものをつくり上げたと思いますね。そのへんもアメリカ製ＩＣと日本製ＩＣの品質が、非常に違う大きな原因だと思いますね。とにかく最初は樹脂に大変苦労しまして、将来ともいい樹脂はできないんじゃないかと、あきらめかけたくらいでした。本当に、現在は夢のようです。

――さて、生産をしない試作だけの開発というのにはどんな意義があるんですか？

傳田　大変シビアなご質問なんですが、研究と量産の関係というのはそういうものなんですね。会社でも、大学でも、あるいは研究所でも実験室で物ができますね。そのほとんどは生産できないというものがほとんどなんです。九〇パーセント以上は、生産できないものなんです。たとえばスーパーコンピューター用の高速のジョセフソン素子が、できたとかいろいろ報道されますね。あれは今のところ全部生産できない品物なんです。

――しかし？

傳田　しかし、そういうもので動いたという原理を探したということが大事なんです。量産にもち込むには、生産技術上の工夫をこらしながらいろいろ設計を変えながらつくっていくわけで、それはそれインダストリーとして大事ですけれども、最初のものができたということはできたこと自体が大事なんですね。ですから、つくれないものをつくったって意味が

国産集積回路の試作を伝える『日刊工業新聞』

ないとおっしゃるかもしれませんけれども、そうではありません。最初の一個ができたということが大切なんです。それ自体が目標だったわけですからね。

――なるほど、ごもっとも。

社長がもらってきたモレクトロン

垂井康夫さんと傳田精一さんのコンビが試作した国産集積回路は、昭和三六年の一月二一日に公表された。写真は当日の日刊工業新聞が伝えた記事である。「電試で固体回路を試作。厚さ一ミリ、重さ〇・五グラム。六カ月の短期間で成功」という見出しが躍っている。

このニュースに、大きな衝撃をうけた会社があった。ウエスチングハウス社が開発していたモレクトロニクスをヒントに、同じようなものを自分の力で開発しようとしていた三菱電機であった。当時はまだ集積回路とは言わず、同じ概念のもとにつくる装置を固体回路とかモレクトロニクスと呼んでいたが、關義長社長はそれを三菱が独自に開発する製品というわけで「モレクトロン」と命名。これを開発するために一大プロジェクトを組織し、他に先駆けて成功してみせると公言していた。昭和三五年のことである。

このプロジェクトに参加してモレクトロンの開発に悪戦苦闘したエンジニアの一人が、忍足(おしたり)博さんであった。一高、東大を出て八欧無線に入り、そこを辞めて三菱電機に転じたエリート技術者であっ

た。

忍足　昭和三四年に私が三菱に入ったんですけど、ちょうどその年の五月に關社長がウエスチングハウスに技術契約に行きまして。そのとき、ウエスチングハウスからモレクトロニクスというものを一個もらってきたんですよ、おみやげに。

――社長のみやげが発端ですか？

忍足　そうです。当時、昭和三四年の暮れにＴＩ社からソリッドサーキットというのが出てましたが、三菱が二七万円で一個買いました。余談になりますが、日立も三〇万円で一個買いました。このソリッドサーキットと、關社長が持ってきたモレクトロンとを比較してモレクトロンのほうを選んだんです。

忍足さんが言う「社長がもらってきたモレクトロン」というのは、モレクトロニクスのことである。それがいかに実体のない技術であったかということについては、中巻第6章「消えていった超小型化技術」でテキサス大学のアドコック教授が詳細に述べているが、この技術に取りつかれてしまったのが、ウエスチングハウス社から技術供与を受けていた三菱電機であった。

忍足博氏

当時の關義長社長が昭和三四年に渡米した折に、ウエスチングハウスから一個の見本をもらってきたのがきっかけであった。しかし皮肉にも、すでに何度も触れたように、ウエスチングハウスのモレクトロニクスは、間もなくジャック・キルビーが発明したＴＩ社のソリッドサーキットに駆逐される運命にあった。三菱電機の首脳部

は、わざわざソリッドサーキットを購入してモレクトロニクスと比較検討しながら、ソリッドサーキットに敗退するほうを選択してしまったのである。半導体技術に出遅れて参入した当時の三菱電機には、的確な技術評価すらできなかったようである。もっともアメリカの国防総省ですら、長い間ウエスチングハウス社のモレクトロニクスを買いかぶっていたくらいだから、日本の企業がテキサスの新興企業よりウエスチングハウスを選んだのは、当然と言えば当然の成り行きであった。

――關社長が持ち帰ったモレクトロニクスの見本は、どんなものだったんですか?

忍足　シリコンの数ミリ角の薄い板ですね。長さが数ミリ、厚さが一ミリくらいの。当時アメリカではミサイルを正確に標的まで飛ばすには、大規模な電子回路を、いかに小型で軽量な機器にまとめるかといった競争をしていたんです。ウエスチングハウスもアメリカ空軍の援助で、猛烈な競争に参加していました。

――へえ、そうですか。

忍足　たまたま、そんな時期にウエスチングハウスを訪れた三菱の社長が、その話を聞いて感銘を受けて、それでモレクトロニクスの実物見本を一個もらってきたわけです。

――それはウエスチングハウスが、特許権でももっていたのですか?

忍足　いいえ、特許など見ていませんし、特許契約もしてません。ただ概念的なものだけでした。それを聞いて見本を見て、中を想像しながら見よう見真似でつくったのが、三菱電機のモレクトロンでした。

――じゃあ、つくり方のマニュアルもなければ、特許の文書なんてのもない?

忍足　ありません。ウエスチングハウスとは半導体に関する一般的な契約はありましたけど、そ

こにはモレクトロニクスについての記載事項などありませんでしたから。実体を申し上げれば、われわれは概念的な説明を受けただけでした。見本を一個ウエスチングハウスからもらったんだけど、それだって形だけで、中身がよくわからない。ウエスチングハウスの技術は未完成というか、技術が固まってなかったんですね。ですから、結局私たちがゼロから独自でいろんなことをやったんですよ。手あたり次第にいろんなことを二年も三年も、ああでもない、こうでもないってやったんです。しかし、ことごとくうまくいかなかったんです。

——当時の三菱には、半導体の基礎的な技術蓄積があったんですか。なかったんですか?

忍足　実は半導体をやった企業は、たいてい真空管をやっていた企業なんですね。日電にしても、日立にしても、東芝にしても。真空管の電子技術が、半導体に応用できたわけですね。ところが三菱は真空管をつくってなかったものですから、電子技術の基礎が不足していたことは事実ですね。

——そうすると、半導体に着手するのも遅かったし、もともと電子技術的にもハンデがあった?

忍足　そうです。一方、日電さんなんか、いち早くプレーナ技術をフェアチャイルドから独占的に導入したんですね。そのプレーナ技術は、三菱が導入した未完成なモレクトロニクスと違って、あらゆるICに使われた基本技術ですからね。

モレクトロンなるものが、一体どのようなものだったのかを、忍足さんに復元してもらうことにした。忍足さんが、私たちに用意するように命じたものがいくつかあった。N型基板の表層をP型に変えてあるシリコンウエハー。パラフィンと鉄筆。金属塗料と溶剤。それをシリコンに塗る小筆。そし

て指先の細かい作業を拡大して見るための顕微鏡。実際の工作は、ＮＨＫの理科実験室で行うことにした。
シリコンウエハーを切りだしておよそ五ミリ角にした後、その表面にパラフィンを薄く塗った。次に硬い刃がついている鉄筆を手に取って、パラフィンの一部を削りとっていく。これを薬品に浸けるとパラフィンの膜が取れたところが表層から溶けていく。つまり表層のＰ型層が薄くなり抵抗値が上がっていく。薬品で溶かす面積を変えることで、抵抗値を調節して抵抗器として使うのである。
忍足　私たちがつくったモレクトロン一号は、大きさが大体五ミリ角くらいで、Ｐ型層とＮ型層の二層になってるわけです。その表面に感光剤を塗って、全面露光させて硬化させると丈夫な保護膜ができる。そこで必要な所を鉄筆でえぐって薬品に浸けると、保護膜が取れたところだけ表面のＰ型層が薄くなって抵抗値が上がりますね。ですから、これでシリコンに抵抗をつくり込んだことになる。
——なーんだ「テガキ」というから、フォトエッチングのマスク図形を手で描いたという意味の「手描き」かと思ったら、「手掻き」だったんですか、落語チックですね。アハハハ。
忍足　しかし、これはラインエッチングと言いまして、ちゃんとした技術なんです。
——これじゃ、二重拡散とか選択拡散とか、フォトエッチングとかと言うわけにはいきませんね。
忍足　ええ。プレーナ法のようにシリコン表面を酸化膜で覆って、それに窓を開けて選択的に不純物拡散をするなど、とてもとても。それ以前で苦しんでいるんですから、われわれは。
——すると、ＰＮＰの三層構造をシリコンの中につくれないいんじゃないですか？

忍足　ええ。できませんね。
――えっ、できない。
忍足　はい。
――どうなさったんですか？
忍足　――。

■三菱電機によるモレクトロンの完成

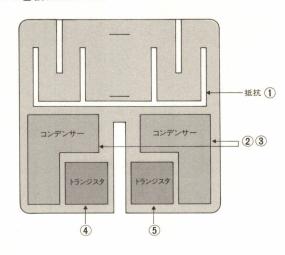
モレクトロニクスは、もともとウエスチングハウスですらものにできなかった技術であった。その見本と社長の話をもとに、独力で集積回路を開発しようと言うのだから、命ずるほうも勇敢な経営者なら、それを受ける技術者たちも楽観的な人生観の持ち主たちだったに違いない。いずれにしても、昭和三四年に始まったモレクトロン計画は、何が何でも成功させなければならない最優先プロジェクトになっていった。

しかし、事は思うようには進捗しなかった。三菱電機には半導体技術の基礎が、まだ充分に蓄積できていなかったのである。そんな昭和三六年の一月二一日、電気試験所で日本初の固体回路が完成したと、新聞が一斉に伝えたのである。三菱電機のモレクトロン開発プロジェクトは衝撃を受け、焦った。

忍足　そりゃあ電気試験所でＩＣの試作に成功したというニュースを聞いたときは、大変ショックを受け動転しましたよ。傳田精一さんたちが、フリップフロップ回路をゲルマニウムの

図12　N型シリコンの基板(表層部はP型層)

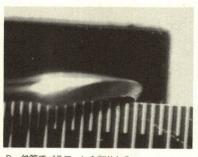
チップに搭載できたというんですから。

——どうなさったんですか？

忍足　われわれも慌てまして、同じ年の二月に一一種類のモレクトロンを発表したんです。チップ自身の大きさが四〜五ミリ角。そこにトランジスタ、抵抗、コンデンサーなどの部品を組み込んだことになっていました。

——「組み込んだことになっていた」というのは？

忍足　実は、最初のモレクトロン一号はトランジスタをシリコン内に形成させることができなくて、ゲルマニウムトランジスタを埋め込んだんです。シリコンにゲルマニウムトランジスタを埋め込んで、誤魔化したんですよ。

——ゲルマニウムを埋め込んだというのは、どういう意味ですか？

忍足　シリコン基板にゲルマニウムチップの

入る穴を開けて、そこに別につくったゲルマニウムトランジスタを埋め込んだわけです。単なる貼りつけですね。
——えっ、貼りつけ？
忍足　ええ。それも手先の器用な職人さんに頼んでコッソリとね。その職人さんが驚くべき名人芸を発揮しまして、小さなゲルマニウムトランジスタをシリコン基板の回路の中に埋め込んで、ちょっと見には動作しているように見せかけるのに成功したんです。
——えーっ、こりゃ驚いた。

A　モレクトロンを復元する忍足氏

B　鉄筆でパラフィンを削りとる

前ページの図12はN型シリコンにP型拡散をして、表層部をP型層に変えてある基板である。それに感光剤を塗り、光で硬化させて硬化膜を付着させ、上の写真Bのような鉄筆で抵抗器として働かせたい部分（図12の①）の硬化膜を削りとった。薬品でエッチングすると、硬化膜の取れた部分が抵抗器として働いた。開発当初はシリコン表面をカバーする方法としてパラフィンを使ったが、試作品の発表当時は感光剤を塗って、硬化膜をつくる方法になっていた。
次に硬化膜の上に金属塗料を塗って、コンデンサーとして働く部分（図12の②③）をつくった。しかし、シリコン基板にトランジスタをつくることが間に合わず、④⑤部分に二個のゲルマニウムトラン

ジスタを埋め込んだというのである。

こうやってみると、推察するところ、中巻で詳細に見てきたようなシリコントランジスタの基本技術、つまりシリコン酸化膜の形成、二重拡散の方法、それらとフォトエッチングを組み合わせた選択拡散の技術などが、ほとんど確立してなかったように思われる。

——なんでまた、そんな貼りつけＩＣなどつくることになったんですか？

忍足 苦肉の策といいますか、そもそも三菱がモレクトロンを始めたのは、三菱の半導体参入を華々しく宣伝するのが狙いでした。モレクトロンの開発に二億円も投入したこともあって、社内のモレクトロン委員会は、発表時期をいつにしたら世間の注目をひくかと計算していたのです。発表は華々しく、派手にやろうと計画していたんです。ところが不幸にも、みんなが必死になっている途中で、電気試験所で国産ＩＣの試作が成功したというもんですから、すぐにでも「当社も試作成功」を発表しなければならなくなったんです。

——ところが、それを実現できる技術がなかった？

忍足 シリコンには、抵抗とコンデンサーだけをつくり込むことはできたんです。今見ていただいた方法でね。しかし、トランジスタをつくることができなかった。いや訂正。やればできたんですが、製品発表会までに間に合わなかった。それで、しょうがないから、でき合いのゲルマニウムのピコトランジスタをシリコンに貼りつけたんです。しかし、できばえはすばらしく、展示してもちょっと見には判別がつきませんでしたから、だれも見破れませんでした。アハハハ。

——でも、ＩＣというには、あまりにも恥ずかしい——。

六月ごろ一部企業化

三菱電機　モレクトロニクス11種開発

集積回路試作開発の成功を伝える記事（『日本経済新聞』昭和36年２月21日）

忍足　恥ずかしいですよ。当時のわれわれには、そういうものしかできなかったということですね。だから傳田さんなんかに「あのモレクトロンは本当はどうだったの」なんて聞かれますけど、恥ずかしくて、とても本当のことは言えませんでしたよ。

写真は三菱電機の集積回路試作開発成功を伝える日本経済新聞の記事である。昭和三六年二月二一日。電気試験所が固体回路の試作成功を発表してから一か月後のことであった。三大全国紙をはじめ経済紙も大きく取り上げたが、ここではまとまっている『毎日新聞』の記事を転載しておこう。

「三菱電気は二十日モレクトロニクス（微小電子回路）を応用した試作品を完成、発表した。モレクトロニクスとは半導体の複合体を作り、物質内の分子の働きを利用した電子回路とい

う意味で、現在のトランジスタの千分の一ないし一万分の一、目方も同程度に軽くなる超小型、超軽量となり、しかも内部配線を必要としないため故障もなくなるという大きな特徴がある。」

「研究のきっかけはミサイル、宇宙ロケットなどに積む超小型、軽量の電子機器を要求するところから起きたもので、米国ウエスチングハウス社がある程度開発に成功している。従来からウエスチングハウス社とは提携関係にある三菱電機は昨年五月、見本を取り寄せるとともに、研究開発に乗り出したが、二十日発表した試作品はオーディオプリアンプ、電力増幅器、多接点スイッチ、同調発振器、位相発振器など基本回路十一種類に及び、従来の真空管式、トランジスタ式に比べ千分の一、一万分の一と超小型、超軽量であることが注目される。現在のところまだ開発段階で値段も高く、直ちには商品化されるところまではいっていないが、同社としては五、六月頃には商品として売り出すことを考えている」。そして記事は最後に「当面の応用としては宇宙開発機器が中心となろうが、二、三年のうちにはボタンのようなラジオ、超小型補聴器などが開発されよう」と締め括っていた。

これは余談になるが、この記事をマイクロフィルムから複写してみると、当時の世相がなつかしく思い出された。昭和三六年は私が就職した翌年で、まだ駆け出しの新人として録音器を肩に北海道を走り回っていた頃である。当時のローカル局では、テレビよりもラジオが中心の時代。私の月給が一万三八〇〇円だった。

この記事が載っている各紙の経済面だけで、世相を拾ってみよう。まず一番下の広告欄では、女性週刊誌が次のような見出しを掲げていた。「裕次郎骨折事件の波紋と真相」「助かるか赤木圭一郎、激突事故の真相」「吉永小百合の可憐な魅力」「自動車オーナーになる秘訣」。ちなみに赤木圭一郎は日本のジェームス・ディーンと言われた人気俳優で、自動車事故で死んだディーンと死に方まで似ている

と言われたものである。
続いて活字の大きな記事から「国鉄借款に協力、水田蔵相と世界銀行極東部長の会談」「鉄鋼設備の自主調整、三六年度は間に合わず」「米の排斥に抗議、羊毛紡績会、毛麻輸出組合」「なぜ急ぐのか。第二原子力発電所建設反対の意見も」「月産一万台の工場追浜に、日産自動車二五日に着工」「三四年の三倍以上も、三五年の小型自動車輸出実績」。連載記事に「英国経済の試練」。その側に載っているごく小さな見出し「電子露出計つきカメラ登場」は、やがて来る電子時代を予感させる記事であった。

集積回路「事始め」時代の試行錯誤

さて本題に戻って、三菱電機の半導体事業三〇年記念誌『せせらぎから大河へ』でも、モレクトロンの開発について触れている。
「關義長社長が前年ウエスチングハウス社から持ち帰った半導体素子の中にモレクトロンがありました。アクティブ素子（トランジスタ）とパッシブ素子（抵抗、コンデンサー）とを同じ結晶の中に包蔵して一つの完成された回路をつくるという先見性のある優れたものでした。しかし実際には、それを形にするのは容易ではありませんでした。当時はゲルマニウムの最盛期であり、シリコンを利用したくても、素材、処理技術など満足に生かすことが出来るものは何もない状態でした。そこで、微小シリコントランジスタを中心にさまざま部品を使い、苦心の末に完成したのがモレクトロン一一種。日本初のICということで非常に注目を集め、発表翌日の当社株が二十円高になったほどです。しかしこれは、長い半導体研究の歴史の中で最初の萌芽に過ぎません。その後、モレクトロン委員会で開発試

作が繰り返され、やがてエレクトロニクス時代の中で大きな位置を占めていく発端だったのです。」

——量産に入ってからは、順調に進んだのですか？

忍足　モレクトロンと一口に言いましても、当時の概念としては小型の固体素子といったような意味あいでしたから、非常に幅が広いんです。モレクトロンというのは総称でして、本格的なＩＣも含まれるし、混成（ハイブリッド）ＩＣも入るんですね。

——本格的なＩＣというのは、同じシリコン結晶の中に、トランジスタも部品も一緒に集積して電子装置としての機能をもたせたもので、ハイブリッドＩＣというのは、抵抗やコンデンサーなどの部品群だけをシリコン結晶に集積して、そこに単体のトランジスタをつけて電子装置にするんですね。

忍足　そう。ハイブリッドＩＣのほうは、三菱電機でも比較的簡単にできまして、盛んに使うようになりました。当時三菱には通信機製作所っていうのがありまして、防衛庁の仕事をしてたわけですが、たまたま三九年に新幹線が動き出しまして、新幹線用の無線機にハイブリッドＩＣを使うことになり、月産数千個ほどつくったんです。トランジスタはピコトランジスタという小さな一ミリ角くらいのトランジスタをつくりまして、ハイブリッドに組み込んで送信機に使ったんです。ですから、ハイブリッドＩＣはうまくいっていたんです。

——本格的なＩＣというべきでしょうか、本命のモノリシックのほうは？

忍足　こっちのほうは開発開発と掛け声ばかりは大きかったんですが、結局昭和三七、八、九年と三年以上暗中模索の時代が続いたんです。昭和三七年からモレクトロン班というのができまして、試作を始めたんですけど、つくっても一週間で不良になってしまうんです。

――これはえらいものに取り組んだなと。

忍足　最初の三年間は、何がなんだかわからなかったですよ。つくってみたら不良、つくってみたらまた不良ですからね。一ロット流してみたら、一個しか動かなかったとかね。

――一ロットって何個ですか?

忍足　当時は一ロットは、ウエハーでせいぜい三枚とか四枚。ウエハーの直径が一インチ(二・五四センチ)で、そこに載っているICが一〇個。だから一ロットはICの数にして三〇個。そのなかで動くのが、たった一個しかないわけ。商売にならないわけです、これでは。歩留まりが数パーセントですから。不良品の割合が数パーセントというならわかりますけど、良品数パーセントですから。

――悲惨ですね。

忍足　現在では、歩留まりが一〇パーセントでも、それを九〇パーセントに上げれば売上が九倍になるんだから、九倍儲かるという考え方で、ひたすら歩留まりを上げることに狂奔するんですが、当時は歩留まりが一〇パーセントや二〇パーセントじゃ商売にならないなと、最初からあきらめてしまうんですね。

――まったく士気があがりませんね。

忍足　当時は工場の中で歌がありましてね。「モレクトロン、つくってみたけどまた不良」という歌がね。つくってもつくっても不良品ばかりで、死屍累々。できたICをずいぶん庭に埋めましたよ。結局、実際に本格的なICができるようになったのは、昭和三九年以降でしたかね。

——なるほど。

忍足　TI社のソリッドサーキットは、抵抗とかコンデンサーの値を全部寸法に置き換えて、それを写真エッチングで精密にチップ内部につくってしまうことができた。ですから予定した通りの特性にでき上がるし、部品相互が互いに絶縁層で独立してますんで、チップ内部に思い通りの回路ができるわけです。そんなわけで、ソリッドサーキットは非常に設計性に富んでいたんですが、モレクトロニクスはそういうわけにはいかなかった。設計性がきわめて悪くて、物をつくってみるまで、でき具合がわからないといったシロモノでした。

——劣化も激しかった？

忍足　非常に劣化が激しくて、研究所ではできても、製作所でつくるともう歩留まりが半分以下になってしまう。年中、研究所と工場でもめてましたね。製造工程には非常に細かいノウハウが沢山あるもんですから、研究室ではできても、工場で別の人がやるともう駄目なんですよ。

——研究と量産の違いは、どこの企業でも最大の悩みだったようですね？

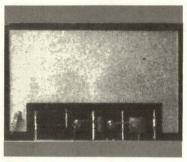
忍足　私なんかもモレクトロンつくるときは、毎日のように、製造方法というか工程を変えましてね、年がら年中、それをおっかけ回したくらいですからね。

——技術が固まってないのに、量産を始めてしまったんですね？

忍足　そうなんです。こんな時代が昭和四四年まで続いたんですが、結局ご本尊のウエスチングハウスがモレクトロニクスを投げ出してしまいましたので、三菱も四五年には、モレクトロンという名称をイギリスの旅客機メーカーに権利売っちゃった。それからは「三菱集積

回路」という名前を使うようになりました。

――ご本尊の手に負えない技術を導入しちゃって、どれくらいの投資をしたんですか？

忍足　非常に設備投資がまた大きくて、昭和三七、八年頃、せいぜい二億円だったんですが、昭和四〇年には四万個のラインつくるのに二〇億円投資しました。今では二〇億くらいの投資はたいした金額じゃないんですけども、当時の二〇億は、現在の一〇〇億円くらいに相当する巨額な投資だったんですね。ですから、当時、東大の高木教授が工場に来ましてね、「三菱さんも、大変なものを始めましたね」って言われたことがあるんです。

これが三菱電機の、集積回路事始めであった。この涙ぐましい失敗を乗り越えて、やがてモレクトロンは、優れた素子として成長していく。現在の三菱半導体技術が世界的な水準であることは、上巻の第1章で見た通りである。

昭和38年前後のモレクトロン

ICの用途に疑心暗鬼のメーカー

写真はモレクトロンに着手してから二年目頃の、昭和三八年前後に製造したモレクトロンである。一ミリ角に二個のトランジスタ、四個の抵抗器を集積してTTL（トランジスタ・トランジスタ・ロジック）回路を搭載してある。これがやがて、日本最初のIC電卓に使われるようになる。

当時はどの半導体メーカーも、ICの使い道には疑心暗鬼だっ

た。大きな需要があるとは思えず、どこもおっかなびっくりで、ICの研究を続けていた。三菱電機の場合は、防衛庁からの要請で通信機の小型化に取り組んでいたために、ICの需要が社内にあったので他社よりは有利であった。しかし、ICが本格的に大量に使われるようになったのは、電卓メーカーが現れてからのことである。

ICの研究開発では一歩リードしていた日本電気だったが、開発に成功したICを使ってくれるところがなくて苦しんだ。当時のことを、半導体事業部長だった長船廣衛さんは次のように回想する。

長船 こちらが一生懸命にICのサンプルをつくっても売れないんです。これには困りましてね。社内はもちろん、電電公社にも声をかけ、輸出にも駆け回ったんですが、駄目でしてね。本当にICの需要開拓には苦労しました。

――それが何で爆発的に使われるようになったんですか?

長船 電卓ですよ。日本のIC産業をバックアップしたのは電卓戦争ですよ。

――長船さんたちが開発したICというのは、どんな?

長船 最初はプレーナ型のIC。つまり、バイポーラ型のトランジスタを搭載したICでした。それをシャープが電卓用に使いたいと言って乗ってきたんです。

ICの顧客を求めて開発担当者が奔走した点は、TI社のジャック・キルビーたちも同じであった。ただし彼らは、空軍という大きな後盾がついていた。性能さえ良ければ価格を問わないで、次々と新製品を大量に買ってくれた。そのおかげでICの性能が日を追って向上し、価格が下落した。このICを大衆商品に使おうと考えたのが、日本の電卓メーカーであった。熾烈な電卓開発をめぐる生存競争のなかで日本製のICは産業として定着し、やがて本家のアメリカに追いついていくのである。

第3章 日本の計算機づくりの歩み

▨ 大小とりまぜ一二五〇機種の電卓

その二日間は、電子立国プロジェクトの作業部屋はパニックになった。大阪のシャープ本社から、八〇〇個の電卓が次々と届いたのである。狭い部屋はたちまち六個の大きな木箱でふさがってしまった。これをテレビスタジオに持ち込んで撮影しようというのだが、何がどの木箱に入っているのか開けてみたくても場所がない。結局荷ほどきは、スタジオで行うことにした。

翌日朝早くから、六個の木箱をスタジオに搬入して荷を解いた。担当の行成卓巳ディレクターが三人のアルバイト学生を指揮して木箱を開け、内容物を確認して年代順に整理していった。中にはさまざまな電卓が、発泡スチロールの緩衝剤で丁寧に包まれていた。シャープが自ら開発製造した製品はもちろん、他社の製品もかなりの数が含まれている。おそらく商品分析や技術評価をするために購入したものに違いない。

一〇時頃に今度は、カシオ計算機から三人の青年が、ライトバンで荷台いっぱいの電卓を運んできた。荷づくり緩衝マットで一個一個丁寧に包まれた四五〇個もの電卓が、大きな段ボールの箱三つに入っていた。マットを一枚ずつ取り去って、それらの電卓を年代順に整理分類するのは結構時間がかかる作業であった。

合計で一二五〇個の電卓がすべて箱から出されて撮影台に運ばれたのが正午過ぎ、私たちはすぐに並べることにした。目の高さで大スタジオいっぱいに広がる撮影台に一二五〇個の電卓をどう並べるのか。製造年月日順に並べるのか、テーマ別に並べるのか、構図本位で恰好良く並べるのか、このときになって、はたと迷った。ただ時代順に並べると構図が様(さま)にならないし、構図だけにこだわると、

スタジオいっぱいに並べられた1250機種の電卓

撮影の狙いが淡くなった。結局、古くて大型の機械をスタジオの中心にまとめ、そこから距離が離れるほど現代に近くなるように電卓を配置することにした。

問題が起きた。シャープ所有の電卓とカシオ計算機所有の電卓を混ぜて並べるか、混ぜないで並べるか。混ぜてしまえば、撮影後再び選り分けるときに大混乱が起きるに違いない。侃侃(かんかん)諤諤(がくがく)の議論の末に結局混ぜて並べることにした。カシオの青年たちが、撮影後の選別を引き受けてくれたのである。

映像効果と歴史的意義の両方を満足させながら、一五〇坪のスタジオいっぱいに大小一二五〇もの電卓を並べるのは、とんでもなく時間のかかる作業になった。午後三時に作業を開始して、どうにか全部を並べ終わったのが午後七時。それから照明のセッティングが始まったが、これがまた難事。全景を引いたときには陰影に富んだ奥行きのある映像にしなければならず、し

かも、電卓に寄ったときには、それぞれのディテールが過不足なく撮れなければ困る。

それはまさに、照明さんの腕にかかることである。『電子立国』の番組は、光の届きにくい微細な対象物を描くことが多かったが、それを鮮明に立体的に撮ることができたのは、澤中淳カメラマンの力量とともに照明技術の名人芸に頼るところが大きかった。この日の照明も、その典型であった。坂本光正さんと、彼の助手たちが三人がかりで三時間。完璧な照明が済んで撮影が始まったのは、午後の一〇時を過ぎていた。

午前一時に撮影終了。今度は並べた電卓を集めて選別することになった。カシオの青年たち三人が一二〇〇を超える電卓のなかから、まずカシオマークの製品を選り分けた。このためにかかった時間がゆうに一時間。残りのシャープ製品は一か所にまとめて保管し、翌日ゆっくりと選別し、荷づくりをすることにした。これで当日の撮影は、無事完了と思われた。ところが最後に最も厳しい後始末が残っていた。選り分けたカシオ製品の保存リストと照合して分類するのである。

カシオの青年たちが型式番号を読み上げると、全員がトランプの神経衰弱ゲームのように電卓を取り上げてめくり、番号をチェックする。カメラマン、三人のディレクター、照明さんたち、プロジェクトのアルバイト学生二人、それにカシオの三人の青年たち。撮影台の取り壊しにきた大道具さんも、それが終わらなければセットを解体できないので、電卓神経衰弱に加わった。深夜のスタジオに「ありましたーっ」「はーい、あった、あった」というかけ声が響きわたった。ゲームが終わったのが午前三時。カシオの青年たちが電卓を積んだライトバンを羽村の工場に運び終わったときには、夜が明けていた。

■電卓統計データの「急騰」と「急落」

「電卓」と私たちが呼んでいる道具は、正確には「電子式卓上計算機」である。国産の電卓が初めて登場したのは、昭和三九年五月に東京国際貿易センターで開催された第二八回ビジネスショーであった。その詳細は後に触れることにして、ここではまず、誕生以来今日までに生産された電卓の全機種を俯瞰してみることにしたい。

昭和三九年のビジネスショーに出展されたのは、キヤノン、ソニー、大井電気、早川電機(シャープの前身)など四社が持ち込んだ四つの機種であった。それから今日まで二七年間に世に送りだされた電卓が、私たちの推定でおよそ二五〇〇機種。年平均九〇機種も新しい電卓が開発されてきた勘定になる。と書けばなにやらもっともらしく聞こえるが、実はこの二五〇〇機種という数字もしっかりしたデータを積算したわけではない。

電卓戦争を生き残ったメーカー、といっても大手はシャープとカシオ計算機の二社だけだが、彼らが所有する電卓をすべて借り集めたところ、およその合計が一二五〇個ほどになった。前述した通りそれをスタジオに並べたのである。電卓市場から撤退した会社も次々と新製品を出していたのだから、彼らがつくった機種も同じくらいはあっただろう。そこで一二五〇を二倍して二五〇〇機種。これが恥ずかしながら、私たちの推定根拠であった。ところがこの数字はとんでもない過小評価で、業界の人たちの感触では一万機種に近いはずだと言うのである。

これから紹介する図は、シャープ電卓事業部長の鷲塚諫さんと、彼の部下だった谷本昭良さんが連名で雑誌『エレクトロニクス』に発表したものである。昭和五五年一一月号の特集記事「電卓の技術

図15　大きさ(容積)の変遷

図13　生産台数と輸出台数の変遷

図16　消費電力の変遷

図14　重さの変遷

革新」である。彼らはそのなかで、電卓戦争についての詳細な技術分析を試みている。

当時はすでに電卓戦争は終わりを告げていたから、論文はその技術的な総括でもあった。ただし、電卓の総生産台数と価格の変遷を除いては、すべての図がシャープ製品について分析したものである。まず六枚の図を一気に目を通していただきたい。実は論文のなかでは、これらのグラフは一枚の図上に実線、点線、破線で書き込んであったのだが、見やすいようにテーマ別に分解してつくりなおした。

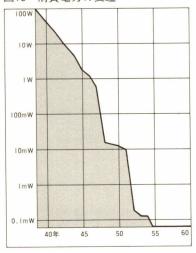
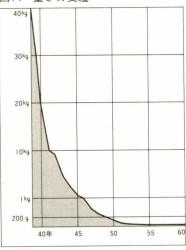



図13は、生産台数の変遷についてのグラフである。いちばん上のグラフが総生産台数、真ん中が輸出台数、いちばん下が国内の販売台数の変遷を示したものである。資料は通産省の機械統計と大蔵省

図17　部品点数の変遷

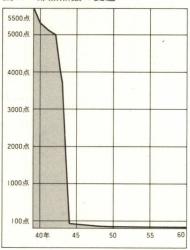
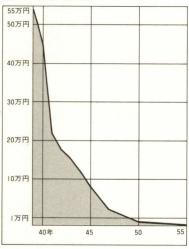



図18　価格の変遷

の通関統計、それに日本事務機械工業会統計を使ってある。なお、昭和五四年以後の総生産台数のグラフは私たちが調べて追加したものである。

このグラフを見て気がつくことは、電卓の伸びを支えたのは国内需要よりも輸出であったことである。電卓戦争はともすると国内だけの競争であったと誤解しがちだが、実は輸出市場も巻き込んだ激烈な競争であった。

図14は、重量についての変遷のグラフである。昭和三九年に四〇キログラムもあった電卓が、二一年後の昭和六〇年には何と一一グラム、少なくとも三六〇〇分の一以下にはなっている。

図15は、容積についての変化である。昭和三九年には七〇リットルあった電卓が、昭和六〇年には〇・〇〇三リットル。なんと大きさが二万三〇〇〇分の一に縮まっていた。図14の重量は初期に急落しているのに、図15の大きさのほうは、じりじりと下がっている。重量はトランジスタなど、使う素子が発達すればすぐに下がるが、大きさのほうは、キーボードや表示装置など他の要因を地道に解決しなければ、サイズを縮小できなかったからである。ちなみに昭和六〇年の電卓サイズは厚さ〇・八ミリのカードサイズである

図16は、消費電力の変化。当初一〇〇ワットも必要だったものが一三年後の昭和五二年には〇・三五ミリワット、その削減率は二九万分の一という想像を絶する技術革新を遂げていた。しかも、その三年後の昭和五五年以降は測定不能なほどの消費電力となり、太陽電池が採用されている。

図17は、電卓を構成する電子部品の点数が、どのような変遷をたどったかを描くグラフである。最初の電卓はトランジスタ、ダイオード、コンデンサー、抵抗器など合わせて五七三〇点の電子部品を使って組み立てられたが、一六年後の昭和五五年には、なんとわずかに六点の部品を組み立てるだけ

で済むようになっていた。ほとんどすべてがシリコンチップの中に入ってしまったのである。したがって製造コストは、この変化に逆比例して急落していったと考えて間違いない。急落が最も激しいのは昭和四二年から四四年にかけてであるが、これこそがＩＣ化の時代である。

最後に、図18。これは通産省と機械工業会の資料をもとにして私たちがつくったグラフで、市場に出た電卓の平均価格の変遷である。昭和六〇年の平均価格が一九四一円。おそらくこれほど短期間にこれほど急激に性能が向上し、価格の下がった商品は他に例がないのではなかろうか。それは最盛期五〇社を超えたと言われている電卓メーカーの熾烈な企業間戦争のもたらした結果であった。食うか食われるかの激しい生存競争を生き抜くために、電卓メーカーは一方であくなき技術革新を半導体メーカーに要求し、他方で莫大な集積回路の需要を創出したのである。これこそが、電卓が日本のＩＣ産業の育ての親と言われるゆえんであった。

さて、これらの図が示す「急騰」や「急落」の陰には、当然のことながら激しい技術革新があった。それらの技術をめぐって、要求する電卓メーカー側も受ける半導体メーカー側も、技術者たちはさまざまな艱難辛苦（かんなんしんく）を乗り越えたに違いない。図の裏にドラマあり。彼らがどのような人生を生き、それが社会をどう変えていったのか。これから展開する物語は、しばしばこれらの図を参照しながら読んでいただければと願っている。

手回し計算器から電動式計算機へ

日本に計算機が輸入されたのは、明治時代の末であった。当時、輸入計算機を購入したのは統計局、

貯金局などの官公庁、大学の研究室、電力会社や保険会社など、日常業務の大半が計算処理を伴うところに限られていた。

やがて大正時代に入って、国産の計算機が現れた。間宮精一が発明した間宮式加減器を商品化した金銭登録機。丸善横浜工場が製造販売したアイデアル計算機。大本寅次郎が開発したタイガー(寅)計算機。昭和一〇年代には国産の手動計算機メーカーが五社もひしめいた。タイガー、ノーリツ、愛国、大洋、タイヨーなどである。しかし太平洋戦争の勃発とともに計算機の開発は戦時統制により禁止され、いっさいの製造が中止させられた。

敗戦とともにさまざまな分野で従来のやり方が批判され、西欧の考え方が導入された。生産管理、品質管理、そして事務管理などである。どれも戦後の日本産業界を大きく変えた要因であったが、なかでも事務管理は企業経営のあり方と直接むすびつけて考えられた。

日本の復興を促進し産業界を再建するには、経営の近代化が必須である。それには計数処理が、単なる経理事務の範囲にとどまらず、経営の根幹にかかわる各種の数字を整理分析する必要がある。その方法として事務体系を合理化し機械化を促進しなければならないと、産業界は考えたのである。

昭和二七年には企業合理化促進法が公布され、昭和二八年には通産省の産業合理化審議会が新しい経営管理のあり方を模索した。その手段として、審議会は事務機の機械化を提唱したのである。こうした動きに呼応するように、大企業ではコンピューターに関心をもつところが増え、いくつかの電気メーカーが国産コンピューターの開発に着手した。

昭和三〇年代に入ると、普通の会社でも日常業務に電動計算機を使うようになり、電動計算機の輸入が急増した。それらを追うように戦前の手動計算器メーカーが揃って市場に参入。三〇年代後半に

は、年間五万台前後の電動計算機が製造された。やがて計算機市場が急速に拡大しはじめた。経済の急成長に伴って、計算処理の量が激増していたのである。ここで、そうした時代、電卓が登場する前の計算機について見ておこう。

東京都台東区柳橋一丁目一番地。浅草橋の駅から徒歩五分、総武線の鉄橋が隅田川を渡りはじめる堤防下に東京文具販売健康保険組合の建物がある。三階建ての小さなビルであるが、その一階が文具資料館になっている。

そこには江戸時代から今日まで私たちの身の回りで使われたさまざまな文具が数多く蒐集展示されていた。江戸時代の硯や筆。明治・大正時代になって使われるようになった万年筆。そして、算盤(そろばん)をはじめ数々の手動式計算器。現在ではまったく見ることのできなくなった電動式計算機も、数多くの機種を蒐集してあった。

今も動く電動計算機を持っている人はいないものかとスタッフが探し回った末に、ここを見つけたのである。

一〇七ページの写真Aは、手動式の計算器である。出入り歯車式計算器と呼ばれているが、多くの歯車の組み合わせでできている。原型は一八九一年(明治二四年)に、スウェーデンのW・T・オドナーによって考案された。爪で数字をセットするための置数装置、答えの数字を出す累算装置、ハンドルを回転させる回転装置の三部分からできており、それらを操作することで加減乗除をするのである。たとえば、「365×5」の計算をするときは365を爪でセットし、ハンドルを連続五回転すると累算装置の各桁の数字が回転して、最後に1825で停止する。これが求める答えであった。

ハンドルの回転を電気モーターで駆動するようにした電動式計算機の一例が、写真Bである。数字

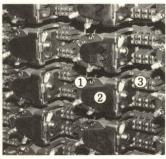
をセットするために、装置は爪からボタン式に変わっている。各桁のボタンが1から0まで一〇個ずつ並ぶフルキー方式。一〇桁の数字を一〇個一〇列一〇〇個のボタンを押すことで置いていく。これらの数字ボタンと右端に並ぶ機能ボタンを操作するだけで、機械が自動的に答えを出してくれる。特に掛け算や割り算のときは、ハンドルを回す必要がなくて肉体的に楽になった。何しろ手回し式では、掛ける数と同じ回数だけハンドルを回さなければならなかったが、その操作は電動モーターがやってくれたからである。

しかし、電動計算機にも弱点があった。計算中は絶え間なく轟音を発したのである。たとえば、「123＋345」を計算してみよう。百の桁の①のボタンを押すと、大きな音がガチャ。続いて十の桁の②のボタンを押すと、これもガチャ。最後の一の桁の③のボタンをガチャと押して、プラス・ボタンを押す。これもガチャ。再び同じように④⑤⑥を次々にガチャ、ガチャ、ガチャと押してイコール・ボタンをガチャと押すと、ガチャガチャ、ガチャガチャ、ガチャガチャと大きな連続音がして、表示窓に答えの468が表れる。

掛け算の場合は、もっとすさまじい。数字ボタンを押して、「×」ボタンを押して、イコールのボタンを押すと、表示窓全体が振動しながらガチャガチャガチャガチャガチャガチャと動きだす。轟音は、答えが出るまで出続ける。当然のことながら掛け合わせる数が多いほど、音は長く出続ける。手動式よりは計算速度も速く操作が楽で便利ではあったが、計算事務に携わる人たちは猛烈な音に苦しんだ。彼らは、計算を瞬時にやってのけ、しかも、音のしない計算機の登場を待ち望んでいたのである。やがて登場する電子式計算機開発の最も大きな動機の一つが、静粛性にあった。電子化をすれば無音計算機ができると、考えたのである。

B　電動式計算機

A　手動式の計算器（出入り歯車式計算器）

C　樫尾製作所製の14-A型リレー式計算機

D　14-A型リレー式計算機（裏面）

轟音が消えたリレー式計算機

計算業務の急増に伴い、自動計算機が切望されるようになった昭和三二年に颯爽と現れたのが、樫尾製作所の開発による「14-A型」リレー式計算機であった。一〇桁の表示窓。テンキー式キーボード。一四桁の加減乗除ができ、使ったリレーが三四二個。一九四五年にアメリカで開発されたリレー式計算機は一万三〇〇〇個のリレーを使っていたが、樫尾製作所は特殊な回路を工夫することで、リレーの個数を激減させることができたのである。電動計算機よりははるかに静かで、計算速度が速かった。これが電動計算機の市場を奪っていったのである。

この計算機を開発した樫尾製作所は、カシオ計算機の前身である。終戦直後の昭和二一年、東京三鷹市で創業。工場は井の頭公園の側の住宅街の一角にあった。木造二階建ての建屋(たてや)はちょっと見には普通の住宅と変わらなかった。そこで樫尾忠雄を長兄とする四人の兄弟が、タイプライターなどの精密部品の下請けを営んだのが始まりであった。

やがて兄弟は、下請け業から脱皮するために独自の製品を開発しようと考えた。日本の経済復興は順調に進み、目ざましい発展を遂げている時代であった。経済が伸びると計算業務も急増し、したがって多くの会社が自動計算機を必要とするに違いないと兄弟は考えた。

こうして計算の自動化に着目したのである。電動式を避けてリレー式を選んだのは天才的な技術者と言われた次男の樫尾俊雄であった。彼は敗戦の年の四月まで逓信省中央電気通信工務局の電気通信技官であった。現在のNTT、元の電電公社の技術者で、リレーについては交換機を通じて精通していたものと思われる。なお、彼は現在カシオ計算機の取締役会長である。技術者の樫尾俊雄を中心に

兄弟が七年の歳月をかけて完成したのが、「14-A型リレー式計算機」であった。
これが文具資料館に、完全に動く形で保存されていた。それを製作したカシオ計算機にすらすでに現存しない計算機の実物であった。映像で訴えるのが仕事の私たちは、絶えず執拗に実物を探し求める癖がある。話よりは写真。写真よりは映像。映像よりは実物。実物も、動かないものよりは動くものと、「動く実物」を求める気持ちが強くて、しかも、執念深いのである。動くリレー式計算機があると知って、私たちは小躍りして喜んだ。
一〇七ページの写真C（左）が樫尾製作所製の14-A型リレー式計算機である。全体が事務机のようになっており、左側に操作パネル、右側に筆記用のスペースがとってある。
操作パネルを拡大してみると、写真C（右）のように上半分に表示窓、下半分がキーボードになっている。表示窓は桁ごとに縦一〇列に仕切られている。各間仕切りの中に光る点が見えているが、これが数字である。
窓の裏には数字を記した豆ランプが一〇個並んでいて、そのうち一個が光っているのである。上から0123と下方向に多くなり、いちばん下が9である。したがって写真の表示窓に写っている数字は、右から「129554867143１１」に違いない。
キーボードは一〇個のキーボタンと機能ボタンだけで入力できるテンキー・システム。当時としては先端的なキーボードであった。
写真D（左）は、計算機の裏面を撮影したものである。整然と並んでいるのがリレー・スイッチである。縦一九個ずつ横一七列、合計三二三個。あと一九個がキーボードに使われているから総合計三四二個。その一部を接写したのが、写真D（右）である。写真に付した数字に従って説明する。①が電磁

石。②が鉄板の小片。③がスイッチ。①の電磁石に電流が流れると②の鉄片を吸い寄せ、鉄片につながっているスイッチを閉じる。

これがリレー・スイッチであるが、これらを巧みに組み合わせると計算という仕事をするのだという。その原理は後述することにして、ここではまず14-A型を動かしてみることにしよう。

まず、足し算の「1+1」。1のキーを押し、左側にあるプラス・キーを押し、再び1のキーを押し、最後に右中ほどにあるイコールのキーを押すと、カシャッと小さな音をたてて表示窓の右端上端に2と光る数字が現れた。カシャッという音は、リレーの鉄片が電磁石に吸いつく音である。

次に、「123456789987654+123456789987654」をやってみた。キー操作は現在の電卓操作と変わらない。さて、合計ボタンを押すと、リレーが一斉に囁きはじめた。表示窓の各桁では、光点がめまぐるしく上下している。まるで光が躍っているようである。カシャカシャカシャカシャカシャカシャカシャと、金属音が一〇秒は続いただろうか。最後に一声カシャッと音をたてると、静寂が戻ってきた。表示窓には光る数字が折れ線グラフのように並んでいた。山脈の頂点をたどるように光点をたどって数字を読んでみると、「246913579975308」。それが答えであった。

今度は、先ほど足し算で合わせた数字を掛け合わせることにした。「123456789987654」をキーで入れ、「×」ボタンを押し、「123456789987654」を押し、イコールのボタンを押した。表示窓の光点はくるったように躍り、リレーの音が絶えることなく続いた。裏側を見ると、三二三個のリレーが全部動いている。鏡のような鉄片が間断なく開閉し、キラキラと輝いている。それはまるで三〇〇もの銀色の蝶が、一斉に舞っているような壮観さであった。一〇秒、二〇

秒、三〇秒……、一分、二分、ついに三分を過ぎた。それでもまだ、計算機は答えを求めて働いていた。

これでも、当時は革命的な計算機であった。操作性も、演算速度も、電動計算機に比べれば格段に優れていた。そして何よりも魅力的だったのが、音が電動計算機とは比べものにならないほど静かであった。これが電動計算機のシェアを、急速に食っていったのである。

ディジタル回路は論理記号の鎖

さて、ここから少しやっかいな話になるが、計算機を理解するうえで大切な事柄なので少しだけ我慢をしてほしい。それは、なぜリレー・スイッチを組み合わせると計算機ができるのかということである。次ページの図19はリレー・スイッチの構造を簡略に書いたものである。

㋑は軟鉄を芯にして、その周りに沢山の線を巻いた電磁石である。線輪の両端が、端子①と端子②である。㋺の鉄片はスプリングで電磁石との間隔が一定に保たれるように調節されている。端子①、②の間に電流を流すと、㋺の鉄片は電磁石に吸引されてスイッチの接点を機械的に閉じて、㋩のスイッチ(SW)はONになる。端子①、②の電流を切ると鉄芯は磁力を失うために、㋺の鉄片も元の状態に戻り、スイッチはOFFになる。これがリレー・スイッチの原理である。つまり、端子①②につながる回路に電気を「流したり止めたりする」ことで、端子③④につながる独立した回路を「動かしたり止めたり」することができるのである。端子①②の回路を微弱な電流で制御し、端子③④の回路に強電流で強力な仕事をする装置をつなぐと、微弱電流で巨大装置を制御することもできる。あるいは、

図19　リレー・スイッチの構造

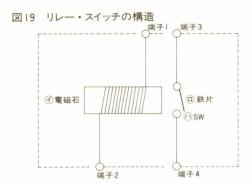



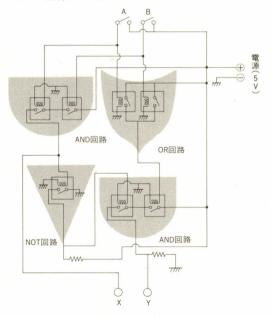
図20　結線した7個のリレー・スイッチ原図

端子③④の回路に交流装置をつなげば、それを微弱な直流電源で制御することもできる。
たとえば、このリレー・スイッチを七個使って、図20のように結線したとする。これはカシオ計算機の専門家に頼んで書いてもらった図面なので、配線をたどれば意図通りに動く装置であることがわかるそうだが、私たちがそれをやる必要はない。七個のリレーをこのように結線すると、次に述べるようなことが可能だということさえ理解していただければ、それで充分である。
電源端子に、5ボルトの電池をつなぐ。AとBはスイッチである。それらの開閉状態について考えると、全部で四通りある。AもBもOFF。AがONでBがOFF。AがOFFでBがON。AもBもON。この四通りである。ABが各状態にあるときにこれらのリレーを通過した電気がXYにどう現れるかが、この回路のポイントである。XYには、たとえば電球をつないだとする。
まず、図21-①を見ていただきたい。AもBもOFFなら、回路にはまったく電気が流れないから、XYもランプがつかない。これは当然。AがONでBがOFFの場合は、Xは点灯せず、Yだけが点灯する。AがOFFでBがONでも、同様にYだけが点灯する。AもBもONにすると、Yが消えXが点灯する。なぜそうなるかと疑問をおもちの方がいたら、迷路遊びのように配線をたどってみるとよい。必ずそうなることに気がつくに違いない。そうなるように配線されているからである。
今度は図21-②のように、ONとOFFを数字1と0に置き換えてみよう。ONが1で、OFFが0である。図21-③のようになる。
ところで、二進法では数字表現が0と1しかない。0と1だけで、あらゆる数を表現する約束になっている。たとえば、こうである。「0＋0＝0」「0＋1＝1」「1＋0＝1」、ここまでは二進法も十進法も変わりがない。問題は、次の「1＋1」である。十進法では当然2となるが、二進法では2

図21　AB2個のスイッチの1(ON)と0(OFF)の組み合わせとXYの結果

A	B	X	Y

OFF と OFF ＝ 消灯 と 消灯
ON と OFF ＝ 消灯 と 点灯
OFF と ON ＝ 消灯 と 点灯
ON と ON ＝ 点灯 と 消灯

A＝0, B＝0 ── X＝0, Y＝0
A＝1, B＝0 ── X＝0, Y＝1
A＝0, B＝1 ── X＝0, Y＝1
A＝1, B＝1 ── X＝1, Y＝0

A		B		X	Y
0	＋	0	＝	0	0
1	＋	0	＝	0	1
0	＋	1	＝	0	1
1	＋	1	＝	1	0

図23　論理記号で書き表した2進法1桁別算回路

図22　論理記号

図22-1

ORゲート

入	力	出 力
A	B	C
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

図22-2

A
B
C

ANDゲート

入	力	出 力
A	B	C
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

図22-3

A
C

NOTゲート

入 力	出 力
A	C
0	1
1	0

十進法	二進法	電気的スイッチのオン(ON).オフ(OFF)表現
0	0	OFF
1	1	ON
2	10	ON, OFF
3	11	ON, ON
4	100	ON, OFF, OFF
5	101	ON, OFF, ON
6	110	ON, ON, OFF
7	111	ON, ON, ON
8	1000	ON, OFF, OFF, OFF
9	1001	ON, OFF, OFF, ON
10	1010	ON, OFF, ON, OFF
100	1100100	ON, ON, OFF, OFF, ON, OFF, OFF
1000	1111101000	ON, ON, ON, ON, ON, OFF, ON, OFF, OFF, OFF

などという数字は存在しないから、この段階で桁が上がって10と表現せざるをえない。この10の読み方は「じゅう」ではなく、「いちぜろ」である。これが二進法における一桁の足し算なのだそうである。つまり、二進法の一桁加算を表現するには、図20のような回路をつくれば可能だということになる。しかも、この一桁加算を巧みに組み合わせたり、繰り返したりすることで、加減乗除などのあらゆる計算が電気回路による計算が可能になるというのである。

これで二進法のなかでの計算は可能になった。ところで十進法表現と二進法表現の間には上の表のように一定の関係が成立する。したがってあらゆる十進法の数字を二進数に変換することも可能であるし、逆に二進法の数字を十進法の数字に変換し直すことも可能である。これもまた電気的にはスイッチを使った変換回路を使うのである。

たとえば十進法の三桁の範囲なら三〇個のリ

レー・スイッチでゼロから九九九までの数字が表現できるそうである。たとえば十進法の一二三をリレーを介して二進法の01表現に変換すると、点灯（1）、点灯（1）、点灯（1）、点灯（1）、消灯（0）、点灯（1）、点灯（1）。つまり1111011「いち、いち、いち、いち、ぜろ、いち、いち」である。けっして百十一万一千十一ではない。このように、私たちの日常生活で使われている数字をいったん二進法に変換し、先述したように半加算機の組み合わせで計算し、出た答えを再び十進数に戻すことにすれば、十進法のあらゆる数字がスイッチで計算できることになる。

さて、多少余計な解説になるが、図20の回路は実は網かけした部分のような三つの基本回路を組み合わせたものだそうである。二組みのANDゲートと、一組みのORゲートと、一個のNOTゲートの三種類の回路である。たとえばORゲートという回路は、図20では右上の横に二個のリレーを接続して構成した回路である。実際の設計段階では、これをさらに記号化して表現している。

図22-1がORゲートの記号である。同じように、図22-2がANDゲート。図22-3がNOTゲート。これらの記号を「論理記号」と呼び、電卓からコンピューターまで、ディジタル回路というのはこれらの記号の連鎖である。

記号が意味する内容は、こうである。AB二つの入力端子それぞれに電気を「加える」か「加えない」かによって、出力端子Cに出てくる電気が「有」か「無」か、言い換えれば「1」か「0」かを表現しているのである。

たとえばANDゲートは、次のような機能があることを意味している。AもBもともに0なら、Cも0。Aが0でBが1なら、Cは0。逆にAが1でBが0でも、Cは0。ABともに1なら、Cは1。こうなるように電気回路が組まれているのである。

結果の出方の違いでORゲートと呼んだり、NOTゲートと呼ぶのである。さらにこれらを基本にして、いくつかのバリエーションがある。ANDとNOTを組み合わせてNANDゲートとか、NOTとORを組み合わせてNORゲートという具合である。

これらの論理記号を駆使してつくりたい装置の機能を表現することを、「論理設計」というのだそうである。だからディジタル回路の設計図には、無数の「釣り鐘」や「くらげ」が複雑な線でつながっている。ちなみに、図20の回路を論理記号で書くと、図23のようになる。つまり、二進法一桁加算器の論理回路である。逆の言い方をすれば、これを電気回路にしたものが図20であり、これをつくる仕事が回路設計。したがって、ディジタル装置の設計というのは、論理設計と回路設計の両面がある、というのである。

このリレー・スイッチが、やがてトランジスタに置き換えられていく。トランジスタは使い方次第で増幅器にもなれば電子スイッチにもなるのだが、電卓とかコンピューターなどディジタル回路でつくられている装置では、トランジスタは大半がスイッチング素子として使われている。

ディジタル回路というのは、膨大な数のスイッチを組み合わせてできているのだが、それが実感できるのは、トランジスタやICやLSIよりは機械的なリレー・スイッチのほうではないかと考えて、このパートで聞きかじりの知識をお伝えしたわけである。

世界で初めての真空管式計算機

スイッチ素子として真空放電を使った計算機が現れた。一九六二年(昭和三七年)に英国のサムロック・コンプトメーター社が、製造販売した「アニタ・マーク8」であった。すでに記述したように、復興から成長の段階に入っていた日本の産業界は、計算事務が急増しつつあった。計算事務の担当者たちは、計算速度が遅くて轟音のする電動計算機よりもっと進化した高速無音の自動計算機を渇望していた。そうした時代を背景に現れた「アニタ・マーク8」は、世界で初めての真空管式計算機として日本の電気メーカーに大きな影響を与えたのである。

この「アニタ・マーク8」を求めて私たちは、八方手をつくして探し回った。これが発表されたとき、計算機メーカーはもちろん、事務機メーカーから電気メーカーまで多くの会社が輸入して研究したのだから、一台くらいは現存しているのではないかと考えたのだが、結局どこにも残骸すら残っていなかった。やむをえずロンドンの支局にお願いして、「アニタ・マーク8」の実物を探してもらうことにした。

「アニタ・マーク8」を最初に輸入したのは手動式計算器をつくっていた日本計算器であった。日本計算器は、商事会社「昌和商店」の子会社であった。その前身である「昌和洋行」は小島和三郎が大正七年に旧満州(現中国東北区)の奉天(現瀋陽)で設立。取り扱った品目が二系統あって一つが事務機械と文具。もう一系統が自転車、オートバイ、タイヤなどの車両関連商品。得意先は満州鉄道など広大な大陸が商圏であった。車両部門では販売にとどまらず製造にも手を染め満州全土に二か所の工場をもち、その従業員は五〇〇〇人を超えたという。

事務機部門の取り扱い商品は謄写版、米国製のテレタイプ、手動タイプ、電動タイプ、スウェーデン製の計算機、スチールケース、金庫、金銭登録機など多岐にわたっていた。敗戦の直前、昭和二〇年の春に日本に引き揚げてきた小島和三郎は敗戦前にタイガー計算機の職人をスカウトして「日本計算器」を設立し、手回し式計算機の製造販売を開始した。その後、日本計算器は専門メーカーとして「昌和商店」から独立。昭和三二年には三菱電機製「メルコム電子計算機」の特約店になり、コンピューターの仕事も手がけるようになった。

当時ロンドンで「アニタ・マーク8」を見つけたのは、三六歳の若さで日本計算器の社長に就任したての小島義雄さんであった。昌和洋行の創業者である小島和三郎の御曹司。大正一三年、後の旧満州国の大連で生まれ、昭和二五年に京都大学経済学部を卒業と同時に、父が興した日本計算器に入社。新しい事業展開の目玉になる商品を求めて昭和三五年にヨーロッパを視察した。アニタ・マーク8を見つけたのは、そんな旅の途中であった。

彼が率いる日本計算器は後にビジコン社と改名して電卓戦争でしばしば大きな役割を演ずることになるのだが、ここでは「アニタ・マーク8」との出会いを小島義雄さんに語ってもらうことにしよう。

小島義雄氏

小島　昭和三五年のことですが、三菱電機さんと組んでアカウンティング・マシンというのを見つけて日本で製造販売しようと思いましてヨーロッパにまいりました。そうしたら、アニタがあるわけですね。これこそ、私どもが望んでいた商品だとね。

——金のなる木を見つけた。

小島　すなわち歯車やリレーなど、それまでにもいろいろな方法を模索して苦労していましたから、自分たちが求めていたのはこれだったと思いまして、私、さっそくロンドンのアニタの販売元にまいりまして、「一台売ってくれ」と言ったんですよ。そうしましたら、相手は冷淡このうえもなかった。

——おや、お客が来たのにですか？

小島　ええ。「おまえ、一台だけ買いたいなんて言うのは、どうせ真似をするために買うんだろう。一〇〇〇台なら売ってやるけど、一台じゃ駄目だ」と、ケンもほろろに断られましてね、売ってくれなかったんです。それで、ドイツにまいりまして、デュッセルドルフで売っていたアニタを大枚はたいて買ったんです。三菱商事のほうに、持っていましたトラベラーズ・チェック全額を、確か六十数万円だと思いますが、お渡しして「これで何とかアニタを買ってください」とね。こうして手に入れたのが、日本に入ったアニタの第一号でした。

次ページの写真Aのマーク8は、支局の協力でやっと見つけた実物である。マーク8の後続機種は日本の電卓に壊滅的な打撃を受けて製造中止のやむなきに至るのだが、サムロック・コンプトメーター社はアニタ・グループというコンピューターや事務機の輸入販売と維持管理をする会社になっていた。しかしアニタ・マーク8はここにはなく、ロンドンの国立科学博物館に所蔵されていた。

アニタ・マーク8は、一二桁の加減乗除をフルキーで行う。表示装置にはオレンジ色の数字を発光するニキシー管を使い、スイッチング素子として真空管の一種である放電管を使っていた。写真Bのように一〇個の数字ボタンが一二列並ぶフルキーのボードを取ると、中には写真Cのような表示用ニ

A　アニタ・マーク8

C　ニキシー表示管

B　アニタ・マーク8の内部

D　スイッチング素子の放電管

キシー管と写真Dのような放電管が一二本もオレンジ色の光を断続的に発していた。これがリレー計算機では、リレー・スイッチの役目をしたスイッチング素子である。

やがてこれがすぐにトランジスタに置き換えられていくのである。購入価格が一台六〇万円。日本の会社はこれを競って輸入し分解し、技術を吸収し廃棄したのである。今、その残骸すらない。

小島　アニタ・マーク8の真空管をそっくりトランジスタ・ダイオードにお変えになったのが、シャープのコンペットでございますね。

——なるほど。

小島　それで、私どももアニタに刺激されまして、電子式卓上計算機の開発に着手したんですが、そっくりの真似じゃ意味がありませんので、われわれ独自の商品に挑戦しよう

と考えまして大阪大学の門を叩いたわけです。

――大阪ですか？

小島　ええ。そこの基礎工学に桜井先生という方がいらっしゃいまして、私どもの顧問をしてくださっていましたので。先生はマグネットがご専門で、計算機の記憶素子として十進コアを開発して、それで電子式卓上計算機をつくろうと考えたわけです。なかなかうまくいきませんでしたが、他のメーカーの皆さんは、アニタ・マーク8を巧みに換骨奪胎なさったようですね。

――なるほど。

小島　キヤノンさんはフルキー式をテンキー式に変え、表示装置もニキシーから独自開発の装置に変え、大変すばらしい計算機をお出しになりました。そんなわけで、シャープさんとキヤノンさんの二社が相前後して、アニタ・マーク8のトランジスタ化に成功したわけですね。

――すると日本の電卓は、アニタ・マーク8から始まった？

小島　だと思います。アニタそのものは、日本ではまったく売れませんでしたよ。高くて、性能が悪いんですから。しかし、それが日本のメーカーに種をまいたということは明らかですね。日本のメーカーはアニタを換骨奪胎して飛躍していった。ですから、世界で初めて電卓をつくったというのは、やっぱりアニタの名誉でございましょうね。

――そうではないというメーカーもあるようですが？

小島　アニタより先におつくりになっていれば、何も申しません。日本の電卓が市場に出る前に、アニタがマーケットにも売られたという事実。これはやっぱり牢固としてあるわけですか

ら。そういうことを言うのは、フェアじゃありませんね。

——すると、小島さんもアニタをバラして？

小島　バラバラにして参考にしたわけです。ロジックを解剖するためにね。そりゃもう専門家の集団でございますし、特にエレクトロニクスというのは、非常にロジカルですから。

——やっぱり各社同じようなことをしてたんでしょうかね？

小島　ええ、そりゃもう間違いありませんね。

もう一人、同じことを証言してくれたのが、佐々木正さん（七六歳）である。電卓戦争を語るときには欠かせない人物で、電卓業界に大きな影響を与えたと言われている。大正四年、島根県に生まれたが、台湾で育った。昭和一三年京都大学工学部卒。同年神戸工業に入社。昭和三七年には取締役に昇進したが、請われて早川電機工業に転じて取締役に就任した。昭和三九年にシャープの電卓第一号が登場する二年前のことである。

佐々木　昭和三七年（一九六二年）、私は神戸工業からシャープに移って来たんですが、その頃の業界は、アニタ・マーク8をいかに模倣するかで狂奔していましたよ。

——なるほど。

佐々木　その少し前ですが、英国のサムロック・コンプトメーターという会社が、世界で初めてミニチュア管を使った計算機アニタMK8を発表しました。ひとかかえもある大きなものでしたが、これが世界で初めての電卓でした。

佐々木正氏

これを各商社が一斉に輸入しましてね。ところが、ものまねの得意な日本ですから、各メーカーは競ってこれを買って分解して、真似をしようと必死だったんです。日本通信機、東芝、日立みんなやっていましたよね。

——佐々木さんもおやりになっていた？

佐々木　もちろん、富士通もやっていました。富士通は神戸工業のほうがトランジスタラジオの経験があるからって言うんで、神戸工業出身の連中が中心になってやったんですわ。日綿を通じて輸入したやつを、バラバラにしてね。僕もそれに加わっていたもんで、そんなことからシャープに誘われて電卓に関係するようになったんです。

——ああ、そうなんですか。

佐々木　それで阪大のコンピューターを専門におやりになっていた尾崎教授に指導していただきまして、尾崎教授がトランジスタでやったほうがいいと。英国から輸入したサンプルは真空管だったんですが、これをトランジスタでやったらいいと助言してくれたんです。ですから、一九六二年の二月にシャープが発表したＣＳ１０Ａは、世界で初めてトランジスタでつくった電卓だったんです。

▨〝電卓元年〟の電子式卓上計算機

当時の時代背景に少し触れておこう。事務機や計算機を中心とする戦後の流れについては先に記述したが、ここでは電機技術の側面から振り返ってみよう。

昭和二八年にテレビ放送が始まり、各メーカーは受像機の量産を開始した。昭和三〇年に入ると全国に団地が出現。テレビ、洗濯機、冷蔵庫が文化生活を支える〝三種の神器〟と言われ、電気製品の製造に拍車がかけられていた。昭和三四年には皇太子御成婚。今の天皇陛下が皇族ではない庶民のお嬢さんを妃に迎えるというので、世の中は〝美智子さんブーム〟に沸いた。そして総延長九キロに及ぶ結婚パレードの中継を見るために、テレビ受像機が爆発的に普及。本格的なテレビ時代の始まりであった。昭和三九年、新幹線が営業を開始。同年東京オリンピック開催。それは日本の経済的な復興ぶりを世界に誇示する儀式になった。競技の模様はカラーテレビで放送され、衛星で世界中に同時中継された。電子時代の到来であった。この年、昭和三九年にビジネスショーに、電子式卓上計算機が登場したのである。

ビジネスショーは、東京商工会議所と日本経営協会が毎年二回ずつ共催で開く展示会である。昭和二四年には第一回が銀座の松屋デパートで開催されたが、そのときは参加企業六社、出品点数三〇、入場者一〇〇〇人といった規模のイベントであった。だが、ショーは日本の経済復興とともに盛況になり、特に高度経済成長政策がとられるようになった三五年以後は急速に規模が拡大した。

昭和三九年は東京オリンピックが開催された年であったが、その年の前期に東京で開催されたのが第二八回のビジネスショー。参加企業二〇三社、出品点数一万二〇〇〇、入場者三五万人であった。この会場で最も注目を引いた製品の一つが電子式卓上計算機、電卓であった。早川電機（シャープの前身）、キヤノン、大井電気、ソニーなどの四社が開発した新製品であった。

次ページの写真Aが大井電気が製造販売した「アレフ・ゼロ101」。横幅三八・六センチ、高さ一九・五センチ、奥行き四六・八センチ、重量一七・五キログラム、消費電力四八ワット。テンキーで

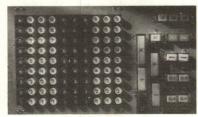
第28回ビジネスショーに展示された４機種の電子式卓上計算機

第28回ビジネスショー（昭和39年）

A　アレフ・ゼロ101（大井電気製）の外観

B　（左）1100個のパラメトロン。（右）パラメトロン１個（拡大）

D　シャープＣＳ10Ａ・コンペット（早川電機製）

C　カメラ会社が開発したキャノーラ130

シャープＣＳ10Ａ・コンペットのフルキー

キャノーラ130の表示装置

シャープＣＳ10Ａ・コンペットのニキシー管

キャノーラ130内部のトランジスタ

シャープＣＳ10Ａ・コンペット内部のトランジスタ

二〇桁の加減乗除を騒音なしにできた。表示窓は上位一〇桁。価格が八〇万円。中には写真Bのように、パラメトロンと呼ばれる一種の電磁石が一一〇〇個も整然と並んでいる。トランジスタは一個も使っていない。耐久性には富んでいたが、地磁気に影響されやすかった。製造台数が一〇〇〇台。大井電気はこの製品をつくっただけで後継機をつくらず、電卓市場には参入しなかった。今ポケットベルのメーカーである。

写真Cはカメラ会社が開発した「キャノーラ130」。横幅三五・五センチ、高さ二二・五センチ、奥行き四六・七センチ、重量一五キログラム、消費電力五〇ワット。レンズ設計で膨大な計算をするキヤノンカメラでは、静かで速い計算のできる計算機の開発が必要であった。特殊な表示装置を開発し二〇〇〇個のトランジスタを使った。消費電力五〇ワット、価格三九万五〇〇〇円。テンキー、一三桁の加減乗除。製造後二七年たった現在も正常に動作する。

ソニーが試作展示した「ソバックス」は横幅三五センチ、高さ二二センチ、奥行き四三センチ、重量一〇キログラム、消費電力一一ワット。テンキーで表示一〇桁の加減乗除。五〇〇個のハイブリッドICを使っていた。ソバックスの意味は「ソリッドステート・アバカス：Solid State Abucus」の合成略語で「固体回路ソロバン」。つまり「ICソロバン」であった。四つの電卓のなかではいちばん小型であったが、このときは試作品の展示に止まり、実際に製造販売を開始したのは三年後のことであった。

写真Dが、早川電機が発売したシャープCS10A・コンペット。横幅四二センチ、高さ二五センチ、奥行き四四センチ、重量二五キロ、消費電力九〇ワット。フルキー、二〇桁の加減乗除ができ、価格が五三万五〇〇〇円。表示装置はアニタ・マーク8と同じニキシー管を使った。ニキシー管はプリント配線の基板についており、その両面にはトランジスタが並んでいる。使った半導体素子はトラ

ンジスタが五三〇個、ダイオード二三〇〇個、いずれもゲルマニウムであった。
こうして四つの電子式卓上計算機が出揃った昭和三九年を〝電卓元年〟と呼ぶ人もいるのだが、当然のことながら、これらは突然現れたわけではない。研究に着手してから実際に製品ができ上がるまで、長い開発期間が必要であった。

テレビブーム後の「未来商品」探し

ここでは、シャープCS10A・コンペットの誕生物語を見ていくことにしよう。
これを開発したのは、シャープの前身であった早川電機工業であった。大正時代東京の下町でバックルなど金属製の小物装身具をつくる職人であった早川徳次は、シャープペンシルを発明して巨額の資本を手にした。しかし関東大震災で肉親を失った彼は失意のうちに関西に移り住み、早川電機工業を創設。折からのラジオ放送開始に合わせてラジオ受信機の製造販売を開始した。これが爆発的に売れ、会社が急成長を遂げた。
戦後は、ラジオだけではなく家電製品の生産に力を注ぎ、三種の神器ブームでは大きな利潤を手にすることができた。特に昭和二八年に開始されたテレビ放送に合わせて日本で初めてのテレビ受像機を量産。テレビブームの先取りに成功した。昭和三〇年代に入ると、経済の高度成長に乗って会社は急成長を遂げていった。現在シャープ副社長の浅田篤さん(五八歳)が、大阪大学工学部を卒業して早川電機工業に入社してきたのは、そんな昭和三〇年のことであった。
浅田　当時はテレビですね。それとトランジスタラジオ。これが輸出で非常に伸びておりました。

もちろん冷蔵庫とか洗濯機とかの白物（しろもの）もやっていましたが、いちばん伸びていたのがテレビですね。あの頃はテレビがどんどん売れたんですけど、真空管ですからやっぱり故障しましてね、そうすると修理する人がいなかったんです。あの頃はＮＨＫさんも、放送は夜間と昼間の二時間だけでした。昼間は放送がほとんどなかったんですよ。ところが修理は放送しているときでないとできませんので、したがって修理に訪問するのは夜間ということになり、人手が足りなくて、私たちもよく駆り出されましてね。

――家庭訪問……？

浅田　はい。昼は会社で技術の開発の仕事をして、夜は修理に回って……。それほど急成長だったんですね、テレビが。ですから、会社は非常に伸びてた時代なんですけど、それだけに現在の好況にあぐらをかかないで、将来を見据えた研究をやろうという空気でした。

一枚の写真が残っていた。大阪市阿倍野区昭和町五一一番地。早川電機工業本社の近くにある飲食街に富田屋という小料理屋がある。社員たちがよく会合に使ったという店であった。写真は昭和三四年の暮れ頃に撮ったスナップである。写真には当時大学を出たての若い技術者たちの顔が並んでいた。その中心に浅田さんが写っている。当時、研究部でテレビの新製品開発に当たっていた。

テレビ修理の出張サービスから帰った若者たちは、しばしば酒を酌み交わし夢を語り合った。テレビのブームのあとの商品とは何か。自分は何をやりたいのか。彼らは口々に聞きかじりの知識を披露し、思いつきを述べ合った。この議論を伝え聞いたトップの一人が若者たちと懇談することになった。

佐伯旭専務に呼ばれた浅田さんたちは求められるままに考えを述べ、未来商品の開発を提言した。専務は直ちに開発すべき新商品のリストアップを下命した。若手グループは電子レンジ、電子照明、

シャープの創業者早川徳次氏

早川電機工業の若い技術者たち。左から３番目が浅田篤氏（昭和34年）

浅田篤氏

医療機器の電子化などを挙げたが、そのなかにコンピューターの応用製品があり、これが電卓開発の芽になった。専務は間髪をおかず実現への具体策を検討し、研究開発体制の整備に着手した。昭和三五年初めのことである。

浅田　まずこうした技術を勉強しようということで、シャープに初めて研究所的組織ができ、なかにはいくつか研究室ができました。

——それで？

浅田　ところが、だれが何を担当するかということになりますと、なかなか決まらない。何しろ口ではいろいろ言ってもすべて耳学問ですから。こういうものが将来伸びそうだということはわかっていても、自分たちは全然やったことがないわけですから。特にコンピューターは先端技術で学生時代にもなかった技術ですから、だれにもまったく予備知識がないわけです。それで、いろいろ議論をしたんですけれど、結局言い出しっぺのおまえがやれということになりまして。というのもコンピューター、コンピューターと盛んに言ったのが私だったものですから。そないに言うなら、おまえコンピューターの勉強せえ、ということになったんです（笑）。

——まったくのシロウトだったんですか？

浅田　バックグラウンドも何もなしで……。そんなことで、ひょんなことからコンピューターの勉強をすることになってしまった。それで私が、コンピューターをやる第六研究室を担当

することになりました。私を含めてメンバーが四人、私がチーフであと三人ですね。ところがコンピューターをやろうと言ってもだれ一人何も知らんわけですから、まず四人で勉強に行こうということになりました。

四人のその後の消息をシャープに調べてもらった。これが意外にも難事であった。四人のうちの二人が退社し、最近まで在社していたのは浅田さんを除けば斉藤賢氏だけであったという。コンピューターに取り組んだ第六研究室は、浅田篤さんを中心に、その後すぐに入社する若い人たちが主力メンバーになったようである。いずれにしても、彼らはコンピューターの知識などまったくなかった。思案の末、身近なところに先生を探すことにした。

幸いにも浅田さんの母校にうってつけの先生がいた。当時の日本では、最もコンピューター理論に精通していると言われた大阪大学工学部の尾崎弘教授であった。当時彼は、ディジタル理論の世界的権威フィスターが書いた『ディジタル計算機の論理設計』の翻訳に没頭していた。そこに早川電機工業の若者たちがやってきた。昭和三五年四月のことである。なお、尾崎教授は昭和五八年、大阪大学を定年で退官されたあと、シャープの名誉顧問として迎えられて今日に至っている。

尾崎　あれは昭和三五年でしたか。今の副社長の浅田さんと、それから斉藤さんという人が私のところに来られましてコンピューターを勉強したいと。それで私は最初に釘をさしたんです。コンピューターっていうのは儲かるもんじゃないよ、って。

——なるほど。

尾崎　それに、これは大変な難事だとね。A社でも二人死んだし、B社でも二人死んだよと。

——へえ、コンピューターの研究者が亡くなったんですか?

尾崎弘氏

尾崎　そう。あの時分に大電気会社は、必死になってコンピューターをやっていた。ものすごい競争をしていたんですね。それにね、コンピューターというのはやり出すとおもしろいわけです。だから何も会社が押しつけたんではなくても、自分から進んで徹夜徹夜で頑張った。そのうちに過労死で亡くなったんです。

——連続して四人もですか。

尾崎　ええ、大体同じ時期に四人亡くなりました。

——へえ。

尾崎　会社からやいのやいの言われて死んだんじゃなくて、競争に負けるものかと死にものぐるいで働いた結果ですがね。要するにA社はB社に負けるものかと、B社はA社に負けないようにと競争して、結果二人ずつ死んでるわけですね。

——凄まじい話ですね。

尾崎　だから言ったんですよ。それほど激烈な競争をしている世界だし、第一儲かるもんじゃないから、コンピューターなんかやるのはどうかなってね。そうしたら、最初にやって来たのは斉藤君だったんですが、彼は二、三日たってから私のところへ来まして、「死ぬつもりはないけれども一生懸命やります」と……（笑）。

——それで？

尾崎　ちょうどそのときに私はフィスターという人の『ディジタル計算機の論理設計』という本

を訳していまして、ゲラ刷りがちょうど来ていましたので、彼らに「そのゲラ刷りを読んで勉強しなさい。ついでにゲラ刷りの間違いを直してくれ」と。

——あははは、一石二鳥ですね。

尾崎　まあ、こんないきさつから、シャープのコンピューター研究が始まったんです。

トランジスタ二万個の試作計算機

早川電機の若者たちは、尾崎教授が翻訳中の『ディジタル計算機の論理設計』のゲラをテキストにして、まず計算原理の基礎を学び始めた。「午前中に論理の勉強をし、午後は回路の勉強をした」と浅田さんは言うのだが——。

——そうすると早川四人組は、午前中いっぱい先生に手ほどきを受けて……。

尾崎　いやあ、そんなこと……。そんな暇はありません（笑）。

——先生も大変だったろうな毎日毎日、と思っていたんですが違うんですか？

尾崎　いや、そんなことはできません。大学院の学生なんか沢山おりますから、彼らと何かワイワイやっていましたよ。まあ、ある程度勉強したら、帰りがけにはうちの学生たちと、ようマージャンやっとったです。

——あれ、マージャンですか（笑）。

尾崎　僕もやったですよ。大体ね、僕んとこみたいにペーパーワークというか紙と鉛筆だけで研究やってるところはね、昼はあんまり勉強しないんですよ。ダベッてることが多い。で、

帰りはマージャンやったりして、夜ですよ、本気で勉強するのは。

——ああ、そういうのが勉強なんですか。

尾崎　はい。

——それじゃあ、わざわざ大学に来なくても会社でもできそうなものですね。

尾崎　いや、そうではない。それは雰囲気に入らないと、やっぱり研究室という雰囲気に入ったほうがいいでしょうね。コンピューターの勉強とか何かやってる連中はどんなふうなことやってるかという。まあ雰囲気に染まるだけですね。

——なるほどねえ。

尾崎　当時ウチには、非常に優秀な大学院生と学部の学生がおりましてね。今では、みんな大阪大の教授とか何かになってますけどね。特に浅田君と斉藤君についた二人の学生は優秀で、現在一人が阪大の基礎工学の教授で、もう一人が三菱電機の家電情報研究所の所長になっているんですが、彼らとシャープの浅田君と斉藤君と四人が一緒になって一年間勉強したんですな。

——お勉強の相手がよかった？

尾崎　そう。一年間の勉強の終わり頃、シャープが四五〇万円出してくれましてね。

——授業料みたいなもんですね。

尾崎　当時の四五〇万円といったらかなりの金でしたから、それでウチの研究室とシャープの連中とで、あやしげな計算機をつくりました（笑）。

——お勉強の成果ですね？

尾崎　そう。同じ機械につけた名前が二つありまして、私たち大学側がつけたのが漢字で澪電界（れいでんかい）、カナ文字で「レイダック1号」。一方、早川電機がつけた名前が早川オートマティック・コンピューター「ハヤック」でした。

——同じものですか。

尾崎　まったく同じもの。まああやしげなコンピューターでしたが、シャープの電卓も元をただせば、そんなところから始まっていくんですね。

若者たちは一年間毎日大学に通い、終日研究室で過ごしたあと、会社でその日の復習をし、応用問題を解き、次の日の予習をして一日を終えたという。やがて何台かの試作体験を重ねたあと、いよいよ商品の開発をすることになった。

浅田　私たちは会社の仕事で勉強しているのだから、いつまでも本ばっかり読んでいるわけにもいきません。商品という結果を出さなきゃいけない。さあ何を狙ったらいいかというのでいろいろ皆で模索をしましてね。しかし、やっぱり初めはコンピューターから発想が抜けられないんですね。

——それで？

浅田　そこで最初にみんなで考えましたのが、いわゆる品質管理用のコンピューターね。これはシャープ社内でもいろんな品質管理の統計処理をしていましたので、たとえば平均値がどうだとか、標準偏差がどうだとか、いろいろな品質管理の統計処理をするコンピューター、これはいけるんじゃないかと考えたんです。

——例のデミング博士の統計的品質管理をする計算機ですか？

浅田　そうです。当時はコンピューターは大変高額な装置ですから、シャープでもコンピューターを買って統計処理をする時代ではありませんでしたから、価格部門でも手回しの計算器でいろいろやってたくらいですから。まずは、それ用に小型コンピューターができれば、非常に高速で性能の高い処理ができるなあと。そうすれば、社内でも使えるし、社内で使えるということになると、これは当然同業のいろんなメーカーさんにも売れる。品質管理が当時の流行といいますか、各企業の重要な管理手法になっていましたから、ウチで使ってみて便利なら他社にも売れると考えたんです。そんなわけで私たちが狙い定めた最初の商品目標は、品質管理用のコンピューターでした。

――標準偏差値などを簡単に計算できる統計処理の道具ということですね。

浅田　そうですね。それをいろいろ実験をしたりしながら、一年がかりぐらいで試作品をつくりましたかね。

――大きさが？

浅田　机いっぱいで、高さが人間の背丈くらいですね。

――トランジスタを何個使ったんですか？

浅田　一万個ぐらいはあったんじゃないでしょうかね。キーボードと、あとは紙テープ。各現場でデータを紙テープに落としまして、それをテープリーダーに読ませて機械が計算をして、結果をプリンターでアウトプットする。

――何台ぐらいおつくりになったんですか。

浅田　これ一台だけです（笑）。まあ勉強のためにつくった機械ですからね。これを実際に商品化

をするかどうかということもいろいろ議論したんですけれども、とても採算が合うだけの需要が見込めないし、当時は大型コンピューターがどんどん進歩している最中でしたから、それらに対抗できる見込みもないということで。

――太刀打ちできないだろうと……。

浅田　これじゃあ駄目だなということになりました。

――それで？

浅田　何か当社の販売網にも見合ったような商品がないだろうか、次の模索を始めたわけです。ご承知のように、コンピューターというのはハードウェア本体を売るだけじゃなくて、それを働かすソフトウェアの準備をするのに非常に人手が食いますね。こういうのは、販売体系から見ても当時の早川電機向きではない。当時の早川電機というのは、量産・量販型の商品を売っていたわけですから。ところがコンピューターというのはまったく正反対で、少量生産に非常に手間暇かけて付加価値を高く取って売る商品ですから、まったくウチ向きではない。体質が正反対だったんですね。それではいかんということを悟ったんです。

――方針変更ですね？

浅田　ええ。それと、通産省のほうから強い助言がありましてね。

ハンダづけ手づくりのプリント基板

戦後の復興が一段落した昭和二七年、企業合理化促進法が公布された。通産省は産業合理化審議会

を設け、新しい経営管理のあり方を模索した。審議会は経営合理化の手段として事務機器の機械化を提唱した。こうした動きに呼応するように大企業ではコンピューターに関心をもつところが増え、いくつかの大企業が国産コンピューターの開発に着手した。大企業は莫大な特許料をＩＢＭに払って開発に専心したが、当時の早川電機のような小さな会社が大型のコンピューターをつくることに将来性があるとは思えなかった。

そんな事情を斟酌したうえで、通産省電子工業課の役人は、早川電機が、コンピューターの先発メーカーの真似をするよりは、同じディジタル技術を応用して、早川電機らしい商品を生み出すべきだと説いた。こうしてディジタル論理設計の技術を駆使してできる量産型商品を検討し始めたのである。

浅田　それで三つの商品にターゲットを絞ったんです。一つが会計機。いわゆる伝票発行機といいますか、お店でお客さんの買った商品の計算をする機械、単価に数量を掛けて合計金額を出す機械ですね。これは当時、主としてヨーロッパからの輸入機械が使われていまして、歯車で計算をする機械式でした。もちろん機械ですから非常に音がしますし、物も大きいですし、大体机ぐらいの大きさはありましたから。

——そんなに大きかったんですか。

浅田　ええ。何とかそれをコンピューターの技術で電子化してできないかと、これが一つですね。もう一つがキャッシュ・レジスターなんですね。ガチャガチャガチャン、チーンというやつですね。今はガチャガチャガチャンと言いませんけども、当時はキャッシュ・レジスターというのはガチャガチャガチャーンと歯車で計算をして、チーンとベルを叩いて金額が表示されて、引き出しが出てきて、釣り銭を出す。これを何とか電子化しようじゃないか

と……。

——それが二番目。で、三番目は?

浅田　もう一つが電子式卓上計算機、つまり今の電卓ですね。

第六研究室のメンバーが考えた「コンピューターの応用製品」の基本路線は、量産向きの商品に狙いを絞ることだった。その結果彼らは、現在市販されている計算関連機器の電子化を当面の目標にしたのである。伝票発行機と金銭登録機と電動計算機の電子化であった。しかし量産とはいってもその程度は、浅田さんの証言によれば「頭に描いた量は月産数百台の程度」であったという。

昭和三〇年代に入ると、普通の会社でも計算業務が激増し電動計算機器を使うようになっていた。電動計算機の輸入が急増し、それを追うように戦前の手動計算機メーカーが揃って市場に参入した。やがて計算機の市場が、急速に拡大しはじめた。経済の急成長に伴って、計算処理の量が激増していたのである。当時は手回し式計算機が一〇万円前後、輸入の電動式が大体三〇万円から五〇万円ぐらいで売られていた。

浅田　電子化する狙いは何だということになるんですけれども、二つあったんですね。

——安く、小型に、ですか?

浅田　まったく違います。おそらく今の皆さんは、だれもがあなたのように電子化の狙いは小型で安くすることだとお考えになるでしょうね。でも違うんです。

——何ですか?

浅田　電子化の特徴は、一つはスピードが速いということです。電子の歯車ですから、機械の歯車なんかより非常に速く計算ができますね。当時は電動の機械計算機で掛け算なんかしま

すと、インプットしてから「×」、「＝」というのを押してからガチャガチャといって、何秒かしてから答えがパッと出てくる。これが電子式だと、おそらく一秒もかからずに答えが出るだろうと。

——もう一つは？

浅田　もう一つは音がしないことですね。この二つです。当時、コンピューター技術の最大メリットは、値段が安いことでもなく、形が小さいことでもなく、何よりも非常に大容量の計算を速く静かにできるということでした。安くて小さくなどという特徴はもっとあとになってからのことなんです。ですから私たちも、何はさておいても、まず速く、音が出ないで静かに計算できるものにしようと考えたんですね。

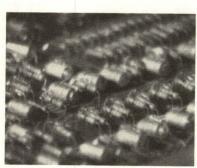
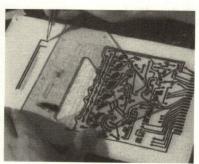
——なるべく瞬時に結果が出て、ガチャガチャなんて言わない機械というのが狙いだったわけですね。

浅田　はい。その二つが狙いでした。そのメリットを三つの商品分野に応用したいと考えたわけです。

何はともあれ、まずつくってみることにした。現在の商品でいえば、一〇〇〇円前後の八桁電卓。加減乗除ができる程度の計算機であった。すでに記述したように、論理設計から始めた。AND回路、OR回路、NOR回路などを無数に組み合わせて、論理回路図を描いた。それはクラゲ記号や釣り鐘記号が、複雑に連鎖する図面になった。

それを今度は電気回路図に書き換えて、使用するトランジスタ、ダイオード、その他の部品の種類

プリント基板をトランジスタにハンダづけする

論理設計と回路設計に没頭する

ハンダづけされたトランジスタ

数百枚のプリント基板を手づくり

や諸元を決定した。それらの部品群を電気回路図通りにハンダづけしていくのだが、部品群を搭載するためのプリント基板は自分たちで手づくりした。各桁ごとに銅箔を貼った樹脂の板を用意して、その上に回路図を油性インキで描いて薬品処理をする。不要部分の銅箔が流れ去って図面通りの銅箔が残る。残った銅箔が配線の役目をするのである。それをプリント基板というのだが、その銅箔に部品群をハンダづけして装置全体を組み立てたのである。

現在シャープ取締役液晶事業本部長の鷲塚諫さん（五四歳）は、昭和三六年、大阪大学

工学部を出て入社したばかりの新入社員であった。電卓開発グループに配属されたばかりの日々を次のように回想する。

鷲塚　午前中は浅田さんが計算機の講義をしてくれるわけです。計算機とはいかなる原理で動くのかとか、浅田さんが書いたレポートを五冊も六冊も用意して、それを教材にして教えてくれました。

——午前中いっぱい？

鷲塚諌氏

鷲塚　はい。昼からは今度は、組み立て。たとえばプリント基板を設計してつくるんです。それにトランジスタや抵抗やコンデンサーをハンダづけして、テストする。そんなものを何百枚も用意せにゃあきませんからね。

——何百枚……？

鷲塚　何百枚です。確か六〇〇枚近くつくった。

——一つの基板にトランジスタが何個……？

鷲塚　大体一つの基板にトランジスタ四つのものもあれば、一〇個ぐらいついてたもんもありましたけどね。全部でトランジスタが一万個はありましたからね。

——へえ。

鷲塚　六〇〇枚のプリント基板には、全部四八ピンか何かのコネクタがついているんですが、それらを結ぶ配線を浅田先生がやっていた。そりゃもう蜘蛛の巣なんてもんじゃなかった。線でごちゃごちゃ。浅田先生は午前中われわれに講義して、午後から配線。

――配線図を見ながら？

鷲塚　自分で書いた図面を壁に貼って、それを見ながら何番から何番へと配線していく。

――それで鷲塚さんはプリント基板をつくる。

鷲塚　僕はプリント基板のハンダづけが担当でした。

――へえ。

鷲塚　夜中までハンダづけだけやって、また次の朝から講義ですから、夜中から予習になりました。

――今度は夜の勉強ですか。

鷲塚　勉強せんと、どんどん講義が進んでいってついていけなくなるから。だから一生懸命復習と予習をやりましたよ。

――浅田さんだって、ちょっと前までは大学で学んでいたんでしょ？

鷲塚　そのときだって、一週間に一回はまだ大学に行ってました。その頃はもう浅田さんだけが代表して行っていたんですが、その代わり浅田さんが学んだことを、私たちに講義してくれましたから。

■未知の技術導入に対する経営陣の英断

こうして最初に完成した電卓の大きさは、浅田さんによれば「基板を床に並べると四畳半ぐらいの大きさになり、値段も目標の三倍以上」になってしまったという。コンピューター理論をそのまま使

1のキーを押すと「1」と出た

入力装置と本体をつないで、いよいよ火入れ

って設計したために、論理の組み立てに無駄が多かったのである。論理回路の無駄を省き、電卓専用の論理回路を工夫しなければ、卓上サイズには収まらず、値段も安くならない。少なくとも電動計算機並みの大きさと値段にするために、論理設計から回路設計まで何度もやりなおし、そのたびにハンダづけを繰り返した。

論理設計や回路設計など電卓の頭脳部分以外にも、入力装置や表示装置など未開拓の分野も一つ一つ自分で解決しなければならなかった。たとえば入力キーボードには押しボタン式のスイッチを使ったが、フルキー・システムでは一桁一〇個で一四桁分一四〇個のスイッチが必要であった。入力装置は最も頻繁に使う部分で、しかも機械的なスイッチであるために激しく磨耗した。入力用スイッチの磨耗をいかに少なくするか、その改良も重要な仕事の一部であった。

こうして、やっとのことですべての部分をつなぐときがやってきた。プリント基板で桁ごとに配線された表示用のニキシー管を次々とソケットに差し込んだ。入力装置と本体をつないだ。全員がかたずを飲んで見守るなか、一人が1のキーを押すと音もなく表示装置に1が出た。2を押せば2と出た。グループのなかからほっとした吐息がもれた。どうやら打った数字だけは記憶してくれるようだった。役員会が開発の近況報告を求めてきたのは、そんな昭和三七年

のことだった。

浅田　今にして、当時の経営者が偉かったと思いますのは、一つは電卓をやれと言って組織をつくってくれたこと。それからもう一つは、大変な我慢をしてくれたことですね。これはなかなか普通じゃ真似ができない。

――我慢？

浅田　ええ。私たちが昭和三五年にコンピューターの勉強から始めて商品として完成した電卓ができたのは三九年ですから、まるまる四年間、一部会計機なんかは商品化しましたけど、四年か五年間は若い者が何かワケのわからんことやっとるな、というようなことだったと思うんですよね。それをじっと待ってくれた。

――いっこうにモノが出てこないのに、耐えてくれた？

浅田　はい。やっぱり役員会などで開発の途中成果を説明したりするんですよ。電卓を初めてつくったときは、掛け算なんか、掛ける1ぐらいしかしないんですよ（笑）。

――えっ？

浅田　掛ける1。

――掛ける1じゃ、答えは計算しないのと同じですね？

浅田　それぐらいしかできないんです。そこまでしか回路ができてませんから。でも、何月の役員会にコンピューターの応用商品の開発状況を報告するということになりますと、まだ途中までしかできてなくても持っていって、こんなバラックを持っていって、大体こんなふうになってますと説明するわけです。そうすると掛ける1ぐらいの計算しかしないんです

よ。当時の社長だった早川さんが、「コンピューターといっても人間よりも馬鹿なんだね」と言ったのを覚えてますけどね（笑）。

――それで、やめろとは……。

浅田　ええ、けっして言いませんでした。よく五年近くも我慢強く見ていただいたと思うんですね。当時はまだ会社の規模も小さかったですから、技術者もそんなに数おりませんでしたから、それを未知の技術に投入するのは、大変な英断だったと思いますけどね。

先の見えない経営者だったら開発は、途中で中止させられていたに違いない、と浅田さんは回想する。それほど開発は思うにまかせなかったのである。まず何よりも壁に突き当たったのがコスト。一つが論理回路の工夫であったが、もう一つがトランジスタの選択であった。

当時はゲルマニウムトランジスタであったが、コストの関係でコンピューター専用に選別された特級品は使えなかった。したがって一般市販用のトランジスタを買ってきて、自分たちで選別したのである。

浅田　当時のトランジスタメーカーさんは、計算機用とラジオ用と二種類つくっていました。

――特性の良いのと、ほどほどのやつと……。

浅田　はい。当時のトランジスタというのは、特性の劣化が激しくて、長い時間使っていると特性が劣化してきて、不良になるとか信頼性が充分でなかったですね。ラジオにはせいぜい五個とか一〇個しか使いませんからラジオでは問題なかったんですが、小型でも計算機となりますと何百個と使うわけですから、同じ一パーセントの不良率でも何百個も使えば……。

――故障の発生頻度は、うんと高くなりますね。

浅田　うんと高くなりますね。しかも計算機の場合は、信頼性が命ですから致命的ですね。ラジオならちょっと聞こえなくなっても、修理に出せばいいわけですけど、計算機はそうはいきませんから。そういう信頼性の保証されたトランジスタを普通は使わなければいけない。ところが、そういうトランジスタは当然値段が高いわけです。メーカーさんでそれだけのエイジング（強制劣化）をしたり、厳選したりして手間をかけていますから当然なんですが、当方はそのような計算機用のトランジスタを使っていたのでは値段が合わないですね。そこでわれわれが考えたのは、何とかラジオ用のトランジスタで卓上計算機をつくれないだろうかと考えました。

――使ったトランジスタというのは、何型でしたか？

浅田　アロイ（合金）型のゲルマニウムのトランジスタですね。確か2SAの17といったですかね。当時は「早川さん何するんですか、こんなもの買って」と、根掘り葉掘り聞かれました。半導体メーカーさんは、私たちが大量に買って何に使うのかということを非常に知りたがりました。

――一般市販品を大量に買ってどうなさったんですか？

浅田　自分たちでエイジングをして使いました。電圧をかけてわざと厳しい環境のなかに長時間放置して、生き残ったやつを使ったんです。

――強制劣化ですね。

浅田　強制劣化です。コンピューター用というのは、その工程を半導体メーカーさんでやっておられるわけですけれども、そうやってセレクトされますと、値段が非常に高くなりますか

ら、安いものを買って、自分たちであまりお金をかけずに強制劣化してみようと考えたんです。端子にトランジスタを全部差し込みまして電圧をかけて、それを高温槽に入れるんです。

――高温槽というと、大体何度ぐらいの？

浅田　大体一二〇度ぐらいじゃなかったでしょうかね。普通の乾燥炉ですよ。いろんな物を乾燥させる炉がありますね、ああいうものです。電圧をかけたまま高い温度にさらしてやって、劣化しそうな弱いトランジスタを早く劣化させてしまおうというわけです。

――ご自分で強制劣化をやってみると、歩留まりはどれぐらいのものでしたか？

浅田　そんなに悪くなかったですよ。九〇パーセントとか八五パーセントだったと思いますけどね。でも、計算機には何百個も使いますから、不良率一パーセントでも、もう商品にならんわけですね。

――一つ劣化しても、全体がパーですからね。

浅田　そうです。ですから、初めは九〇とか八五パーセントだったと思いますけれども、それを何時間やれば全部振り落とせるかと試験して、生き残ったものだけを使うようにしました。

その方法はいろいろと工夫をしましたね。

安価なトランジスタを強制的に劣化させて不安なトランジスタを取り除いて使うことは、コスト低減に大きく役立った。しかし、それだけでは電卓のコストを激減させ、しかも信頼性を充分確保することはできなかった。使用するトランジスタの数を減らせるような回路を考え、トランジスタの特性が多少悪くても、それをカバーできる回路を工夫する。そうした地道な努力を積み重ねていく必要が

あったのである。

浅田　トランジスタが少々劣化をしても、誤算につながらないような回路上の工夫をする必要もありました。それから何よりもトランジスタの数を減らす努力が必要でした。トランジスタが多ければ多いほど、価格も上がれば、劣化の確率も上がるわけですから。それには、計算の仕組みを工夫する道がないかと考え続けました。

——計算の仕組みを変えるんですか？

浅田　そうです。計算機の設計は二つの技術から成り立っていまして、計算の仕組みを考える「論理」設計と、それを電気的に実現する「回路」設計ですね。ラジオ用のトランジスタを使うための回路上の工夫といいますのは、「回路」設計の分野なんですが、もっと根本的な計算の仕組みに関する「論理」設計を工夫することで、小型化の壁を乗り越えられないかと考えたんですね。

——何を変えるんですか？

浅田　コンピューターの膨大な論理の仕組みを卓上型の計算機向きに、できるだけ簡単な仕組みに変えても、計算ができる方法はないだろうかと考えたんですね。

——要するに無駄なところを省いてということですか。

浅田　はい。それに一年ぐらいかかりましたかね、何かいろいろ皆で知恵を出し合って。いろんな挫折もありましたがね。

耐寒・耐熱試験は体力が勝負

こうして、論理回路は次第に洗練され、スリムで能率の良いものになっていった。価格も次第に下がって目標に近づいた。しかし信頼性の問題は、なかなか解決しなかった。浅田さんの記憶によれば、「せっかく組んでも一日つけっ放しにしておくと、ポロポロ誤算をした」というのである。

ようやく計算ができるようになったものの、スイッチを入れてしばらくすると間違い計算を頻発した。トランジスタは熱を発生し、それを密集させると熱がこもった。熱がこもるとトランジスタが温められて、動作不良に陥った。自ら熱の出るトランジスタが五〇〇個も密集すると、電卓内部の温度が動作限界を越えた。熱がこもらないようにトランジスタを離して配置すると、装置は卓上と言えないほどの大きさになってしまった。特にゲルマニウムトランジスタは、少しの温度上昇ですぐにくるい始めた。ゲルマニウムの温度特性自体に問題があったのである。

鷲塚　あの開発は体力が勝負でした。ゲルマニウムトランジスタが高温・低温それぞれ、どのへんまで正常に働くかを見きわめなければいけませんでしたので、その温度まで、人間がお付き合いをするわけです。

――なるほど。

鷲塚　計算機を持って寒い部屋に入りますよね。で、どんどん温度を下げながら、じっと測定器やオシロスコープを見てるわけですね。この部分の信号はちょっと波形がおかしくなってきたなと。次はここだなと順次、悪いところをテスターでさわりながら調べていくわけです。

――寒いって、どれぐらいの温度ですか。

鷲塚　私が付き合った機械はマイナス一七度。そんな場所がたまたま冷蔵庫同然の研究室にあったんです。そこへ計算機を持ち込んで、温度をどんどん下げていった。マイナス一七度まででいったら、どの回路もみんなもう駄目になりました。

――ダウンですか。

鷲塚　はい。だから、ここから下はやっても意味ないんですが、マイナス一七度までは稼働するわけですから、その範囲内でゼロからマイナス一七度まで、各温度ごとに回路を全部チェックして弱点を洗い上げたんです。そうすることで、マージンを少しでも増やしていこうというわけですね。

――当然、防寒着を着て？

鷲塚　もちろんです。ただ着るものはあるんですけど、長い間はやっていられませんでした。ちょっと年配になると、肩とか腰とかを神経痛が襲うようになりましてね。なにしろマイナス一七度の中でじっとしてますと、やっぱり……。

――どれぐらい、じっとしてるんですか。

鷲塚　回路を順番に当たっていかにゃいかんですから、時間がかかるんですよ。

――何時間も？

鷲塚　とんでもない。一回入ると一五分ぐらいしかもたないですよ。じっとしてるんですから。ですから一五分したら出てきて、しばらく休憩してまた入るといった具合に続けました。

――さて、温度の高いほうは？

鷲塚　上げるほうも同じように行ったんです。摂氏六〇度ぐらいまで行ければと思ってやったんです。

——六〇度!

鷲塚　やったんですけど、全然あかん。それはもう、体力が全然あきませんでしたね。それと汗

試作機の高温テスト

試作機の低温テスト

がいっぱい出るでしょう。それで機械に汗がポタポタ落ちて、バチバチとショートして機械が潰れたりするでしょ。

――火花が……。

鷲塚　ですから、これはもうあかんということで、六〇度まではできませんでした。しかし、よく考えてみたら馬鹿みたいな話なんですけどね。加熱するほうはヘアドライヤーなんて便利なものがあるんですから、計算機にビニールの袋をかぶせて、二～三か所からヘアドライヤーを突っ込んで熱風を吹き込めば済んだんですね。初めはアホですから、そんな簡単なことも思いつかなかったんですわ。

――あとから考えれば、そういうことなんですね。

鷲塚　やがて、ガラス製の箱にゴム手袋をつけて、手だけを箱の中に入れてやるようになった。ガラス箱の中だけを高温度にすればいいわけですから。

――クリーン・ボックスというか、ドライ・ボックスというか。

鷲塚　そうです。中に計算機を入れときまして、操作する手だけを中へ入れて作業した。そうすると、体が暑いのは避けられました。

ラジオ用の安いトランジスタを回路の工夫でカバーするために数えきれないほどの改良を重ね、そのたびに試作機を冷凍室と高温室に持ち込んだ。やがて五体が神経痛に襲われ、心臓に異常を感ずるようになったという。こうして計算機の過ちは、日ごとに減っていった。特性の悪いラジオ用トランジスタを使っても、計算機の信頼性を維持できるようになったのである。

――この頃でしたか、確かマーク8とかいう？

浅田　そうです、昭和三七年でしたが、英国製のアニタというのが発売されまして、真空管でした。

――まだ電卓を開発している途中ですね？

浅田　ええ。

――どの程度参考になさったんですか？

浅田　それは手に入れていろいろ研究をしました。使用性がどうだとか、計算機ですから、とりわけ信頼性がどうだとか、量産性がどうだとか、いろいろと調べました。

――その解析はどれくらい役に立ったんですか？

浅田　あまり参考になりませんでした。と言いますのは真空管式では、われわれが狙いとしていますます高速、小型、高信頼性の面で限界がありましてね。

――要するに、真空管を使うこと自体が時代遅れだった？

浅田　はい、限界がありました。

――その英国製というのは、大きさはどれくらいのものだったんですか。

浅田　やっぱり今の電動計算機と同じくらいで、われわれがターゲットとしているものと、ほぼ同じ大きさでした。

――そうすると、大きさは似てたわけですね。

浅田　ええ、似てたわけです。ですから、技術的にはあんまり参考にならなかったんですけれども、われわれが狙いとしている商品の方向は正しいんだと自信がもてました。こういうものができれば、かなり大きなマーケットが期待できるなということが、ある程度わかりま

して、非常に励みになりましたね。

■一号機・二号機に予想を上回る注文

一二七ページのシャープCS10A・コンペットと一二一ページのアニタ・マーク8を並べて見てほしい。外観の雰囲気が非常に似ていることに気がつく。全面が傾斜しているデザイン、ニキシー管を使った表示装置、フルキーの入力装置。デザインのセンスとしてはマーク8のほうがスマートな曲線美を見せている。しかし肝心の論理回路の構造が双方どうなっているのか、それは素人の私たちにはわからなかった。ただマーク8がシャープの技術陣に何らかの影響を与えずにはおかなかっただろうと、私たちは想像した。

こうして昭和三八年に最初の試作機が完成するのだが、縦・横一メートル、高さ五〇センチにもなり、卓上式と言うには少し大きすぎた。これをさらに洗練して、なんとか大きさだけは卓上サイズに収めたのだが、価格のほうが目標の五〇万円を切ることができなかった。

当時はどこの会社でも備品購入の権限は各セクションの部長決裁で行われたが、その権限の上限が五〇万円であった。五〇万円を超える物品は、部長クラスの一存で買えなかったのである。だから企業相手の製品は、価格が五〇万円を超えるか超えないかは重大な問題であった。

結局シャープの新製品は、販売時に一〇パーセント割り引いた値段がぎりぎり五〇万を切るように設定された。それが五三万五〇〇〇円だった。こうして製造販売のメドがついたのが、昭和三九年三月のことであった。

ＣＳ１０Ａ・コンペットが完成したとき、開発者たちは当初月産四〇〇台も売れれば上々と考えていた。ところが、発売を開始してみると予想を超える注文が舞い込んだ。しかも意外なことに海外からの引き合いが多く、オーストラリアからは即刻一〇〇台などという注文があった。そんなことから関係者は、電卓開発の方向に自信を深めた。

計算事務を扱う女性たちからフルキーに対する不満が寄せられたため、シャープは、翌四〇年にはフルキーをテンキーに変えた新製品を発表した。シャープ電卓二号機ＣＳ２０Ａには、シリコントランジスタが採用された。一四桁、三七万九〇〇〇円、重量一六キロ、消費電力三五ワット。

この二号機が爆発的に売れ始めた。予測をはるかに上回って注文が殺到。シャープは月産二〇〇〇台の増産体制を敷くことになった。電卓専門工場を建設し、シャープは電卓の本格的生産に乗り出したのである。昭和四〇年に生産された電動計算機の総数が年間五万四〇〇〇台だったから、ＣＳ２０Ａの月産二〇〇〇台、年間二万四〇〇〇台という生産台数は計算機市場のなかでは大きなシェアを占めたというべきであろう。しかも、これが数年のうちに逆転していく。電動計算機の生産台数は急速に低落し、電卓が急上昇していった。電卓時代の到来であった。

第4章

電卓時代の到来

▧ 掛け算ならヒケをとらない計算機

電子式卓上計算機の普及によって、電動計算機は大きな打撃をうけた。輸入は劇的に減り、国産メーカーは計算機市場からの撤退を迫られた。なかでも最も大きな打撃を受けたのが、電動計算機のシェアを食って急成長を遂げていたリレー式計算機メーカー樫尾製作所であった。キヤノンやシャープ製の電卓が官公庁や企業に浸透していくにつれ、リレー式計算機の売れ行きが鈍っていった。

この事態に危機感を抱いたリレー式計算機の設計者樫尾俊雄は、新型リレー式計算機の開発に着手した。論理回路を工夫することで、電子式卓上計算機に勝るとも劣らないリレー式計算機を目指したのである。

そんな樫尾製作所に、昭和三九年に日本大学理工学部を出たばかりの人材が入ってきた。現在専務取締役情報機器事業本部長の志村則彰さん（五一歳）である。

志村　私が入社した頃、すでに変な兆候がありましてね。私たちは設計部門ですから、直接は電子式卓上計算機の影響を知らなかったんですが、生産ラインが全然動いていないんですね。注文が来ないわけですから。ですから、女の子が何かザワザワして仕事してないわけですよ。

——生産をしていない？

志村　そう。リレーのラインが止まっているんですね。これは何かあるのかなとは思ったんですが、なにしろ新入社員でしたから、会社の内情をまだよく知らなかった。ただ、工場が仕事をしてないんですよ。女の子たちが、草むしりしたりなんかしてるんです。

当時の樫尾製作所

志村則彰氏

――それでも、志村さんは入社した。

志村　それは、入りたい会社はここだと信じていましたから。

――それはまた、なんで？

志村　私は大学時代に、リレー式計算機の「14―A」型を使っていました。研究室で実験した結果を計算するのに使ったんです。そのすばらしさに引かれて、会社を訪ねて行きました。こんな計算機を、自分の手でつくってみたいと思ってね。

――就職しようと思われたんですか？

志村　ええ。それで行ってみたら、立川の片田舎の小さな工場でした。

――こりゃ、駄目だと引き返さなかったんですか？

志村　いいえ、逆です。こんな小さな会社が、あんなすごい計算機をつくるんだから、きっと優れた技術をもって今に伸びるだろうし、自分にもチャンスがあると考えました。

――それで、入社していかがでしたか？

志村　それはもう、好きで入った会社でリレー式計算機を教えてくれるわけですから、夢中で勉強しましたね。もう毎日毎日楽しくてしようがなかった。これはすばらしいところに入ったと思いましたね。

――何をやらされたんですか？

志村　その頃から樫尾も、電子を少しやってたみたいなんですね。当時一緒に入った仲間の半分がリレーに、あとの半分が電子に回された。私は絶対リレーをやりたいと言うものですから、「おまえはリレーをやれ」ということで、リレー・グループに配属されました。

リレー式計算機が本命の樫尾製作所であったが、別のグループが若い荒正勝氏を中心に電子式計算機の試作を行っていた。だが、それはあくまで予備的な存在で、電子式計算機がすぐにもリレー式にとって代わろうとは社内のだれ一人考えなかった。

志村　僕は大学時代、猛烈に勉強したほうなんです。ですから、会社に入ったらもうやることないんじゃないかと思ったぐらいなんですよね（笑）。ところがリレー式計算機を覚えたりしてると、一日がすぐたっちゃうんですね。大学時代の勉強というのは、好きでやってるわけじゃなかった。しようがないから、やったわけですね。ですから、一日がいやいや過ぎていく。それに比べて、会社に入ったら毎日が実に充実していた。会社ってこんな楽しいものかと思いましたよ。ですから、もう夢中でやりましたね。

――夢中で何をやったんですか。

志村　計算機をつくる原点といいますか、論理回路を覚えることですね。三か月は本当にもう一生懸命やりました。論理回路が身に染みついてしまいましたよ。

――なるほど。

志村　ですから、足し算というのはどういうふうにしてやるのか、引き算というのはどうするのか。掛け算というのはどうやってできてるのか。そのへんの基礎勉強を体にたたき込まれた。

——論理回路の基礎ですね。

志村　そうです。それがわかっちゃえば素子がリレーだろうが、トランジスタだろうが、ベースは変わらないわけです。あとはハードウェアの知識をどうもつかということであって、回路の基本はまったく同じなんですね。そういう意味で、最初に夢中になって勉強した事柄はその後の自分に非常にプラスになったと思いますね。

——なるほど。

志村　ですから、実はリレーでも電子でも、どちらでも良かったんですが、リレーに惚れて入社したのですから、仲間のなかでもリレーに関してはおれに任せろ。いつでも実戦で役に立ってみせると言うもんですから、リレー・グループに配属された。

樫尾俊雄が技術者の意地にかけて考案した新方式のリレー式計算機は、何よりも計算速度の速いことが特徴であった。電子式計算機に対抗するには、スピードが勝負と樫尾俊雄は考えた。特に計算頻度が多くて時間のかかる掛け算で、電子にかなわないとなると致命的であった。それまでのリレー式計算機で、たとえば「123×1000」を計算するときは、123を一〇〇〇回も足し算をしなければならなかった。あの文具資料館で見た通りである。したがって計算に要する時間は、数十秒もかかった。

これでは電動式には勝てても、電子式には負ける。そこで樫尾俊雄が考えた方法は、九九の回路を組んで演算速度を速めることであった。こうして掛け算に限っては、電子式計算機にひけをとらない「81型リレー式計算機」が完成したのである。

志村　なにしろリレーというのは電磁スイッチという機械ですから、トランジスタのようにはい

かない。トランジスタのスピードというのは電子のスピードですから、一つの計算をするのにマイクロ秒のオーダーなんですね。リレー式は10^{-3}秒くらいでしたが、トランジスタは10^{-6}秒ですから、リレーより三桁速い。それに桁数が桁違いに多くても処理できる。リレーですと大きさの関係から四〇〇個も使えば限界ですが、トランジスタですと一万個ぐらい簡単に使える。小さくスピードが速いトランジスタを使えば、小型で高速の計算機ができるのは当たり前ですね。これが昭和三九年にドーンと出てきたわけです。それに対抗しようというので、頑張ったリレー式計算機が「81型」でした。

——リレー式で電子式に勝負?

志村　ええ。何とかトランジスタに対抗して速くするために樫尾俊雄が考えたのは、掛け算が遅いんなら九九の回路を組み込んでしまおうじゃないかということです。そうすると「3×3」なら、パッと答えは一回で出ちゃう。その速度も、一〇〇ミリセック(一〇〇×一〇〇分の一秒)で出ちゃう。何桁あっても九九ですから。計算の中心の掛け算にしておいて、足し算の場合は「×1」にするんです。そうすると足し算になるんですね。ところが、情けないかな割り算回路ができなかった。いや、できないんじゃない。できるんですが、ハードウェアが大変なことになった。使うリレーの数が膨大になっちゃう。

——どうなさったんですか?

志村　割り算だけは、勘弁してもらうことにした。

——ああ、頻度が低いから?

志村　そうですね。

新製品披露会で製造中止決定へ

使う頻度の高い掛け算さえ電子式にひけを取らなければ、使用頻度の低い割り算が遅くてもお客は我慢してくれるだろう、と樫尾俊雄は考えたのである。リレー式計算機に憧れ、その将来に賭けた志村さんは81型リレー式計算機の開発に加わり、その製作に熱中した。写真は昭和四〇年四月に完成した81型、とその側に立つ志村さんである。

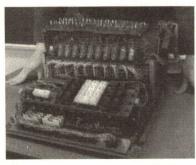
志村　そりゃ、夢中でやりましたよ。憧れのリレー式の新製品開発に関わることができるんですもの。一年間も無我夢中でやりましたよ。そして、できたんです。できたんですが――。

――何か？

志村　代理店さんたちを全国から集めて、大々的に81型の披露会をやった。そりゃ樫尾製作所としては、社運を賭けた新鋭機ですからね。

――反応は？

志村　形だけはスマートでしたから、最初にディーラーさんが来たときは「おっ、いいじゃないか」と言うわけですよ。掛け算・足し算やってるときも「おお、上出来」と言うわけね。足し算と掛け算、これはスッスとで

81型リレー式計算機と志村則彰氏（左）

動転したトップが持ってこさせた、余技の電子式計算機

新製品発表会の再現シーン

「いいじゃないか」と満足するディーラーたち

割り算の答えがなかなか出ない。

きた。しかし割り算になったら、「あれっ？」と言うわけですよね。割り算は遅くてしようがない。

――一転して。

志村　「世の中もうこんな遅いんじゃや駄目じゃないの」とか、「これは駄目だ」とか。

――駄目だというのは、ディーラーさんたちが？

志村　ええ。「もうこの時代じゃないんじゃないですか、樫尾さん」と言うわけ。

――相当突き上げられた。

志村　険悪な空気になりましてね、もう「帰ろう帰

ろう」ですよ。「馬鹿にすんな」とか「付き合っていらんねえよ」とか言って、ディーラーさんの何人かが席を立ちはじめた。そうしたら社長はじめ、今の相談役だと思うんですが、私もよく上のほうはわからなかったんですが、なにしろまだ新入社員でしたから(笑)。だれが偉くてどうなのかというのは、よくわからない時期だったんですが、お偉方はまっ青になって私に、「おまえ、あれのあるところは知っているんだろう」と叫びました。私が「わかってますよ」と言うと、「じゃあ持って来い、早く」と言うもんですから、しようがないから駆けて行って、電子式を持って来ましてね。

――とにかくディーラーさんたちをつなぎとめた。

志村　はい。それまで私は壇上で、リレー式の新製品を説明してたんですよね。それが、いきなり「電子式を持って来い」でしょう。そこで私が電子を持って来たら、今度は「おまえ、ついでに説明しろ」と言うわけですよ。まあ私だって説明はできますよね、操作ぐらいは知ってますから。それでリレー式に代わって、電子式の説明をしたんですがね。

――さて反応は?

志村　やったらね、ディーラーが「おっ、これでいいじゃないか」と言うんですよ。

――ディーラーも大満足?

志村　ええ、大満足。

このくだりは、テレビでは見せ場になるに違いない。といっても、当時の新製品披露会など写真一枚あるはずがなかった。そこで志村さんに頼んで、披露会を再現してもらうことにした。ところが肝心の81型リレー式計算機が、カシオ計算機には残っていなかった。とっくの昔に廃棄してしまった

というのである。幻の計算機は、文字通り幻であった。

そこで私たちは先ほどのスナップ写真を手がかりに、同サイズの復元模型をつくった。テレビの美術関係者のなかには、そうしたことが非常に得意な人たちがいる。藤田惣一郎さんもその一人であるが、この番組では彼の手を煩わせて復元した装置は枚挙に遑（いとま）がない。幻の81型も、彼の奔走による労作であった。

実物そっくりにでき上がった81型リレー式計算機を見て、志村さんは燃えた。専務権限で若者たちを集めて、瞬時にディーラーに仕立て上げた。志村さんが実験室に取りに行く電子式計算機は、カシオ計算機が製造した最初の一号電卓001型を剝（む）き出しにして使うことにした。披露会の部屋は、当時とほぼ同じ場所にある東大和工場の会議室で再現した。一六六ページ写真の数々は、志村則彰専務演出のディーラー会議の再現風景である。

――もしディーラーさんの前で、動かなかったらどうするつもりだったんですか?

志村　さあ、どうしたんでしょうね。それはね当然実験室で動かして、一応動くと確認して持って来たんですがね。

――でも、実演では機械が足し算しかできなかったりして。

志村　いや、それはちゃんと掛け算も割り算もやりましたよ（笑）。一応確認して持って来たんですが、実験室で、もし動かなかったら「なかったですよ」と言うつもりだったんです。「場所がよくわかりません」とか言ってね（笑）。

――しかし、計算機が誤動作しなくてよかったですね。

志村　そうですね……（笑）。その日からリレーはカシオでおしまいになったわけです。ですから、

せっかくこんなすばらしい「81型」を私たちはつくったんですが、幻の名機ということで世に出なかったんです。そこから樫尾製作所も、電子時代に入っていったんです。

――葬式と誕生が、一日のうちに訪れたようなもんですね。

志村　そう。自分のお葬式と人の祝賀会を一度にやっちゃった。でも、ウチのトップはどういう思いで切り換えの決定をしたかわかりませんが、ものすごく決断が早かったですわ。

――ディーラーさんの圧力が、モノを言ったんでしょうね。

志村　でも私はまさかリレーを即刻廃止するとは思ってもみなかった。おそらく両方やるんだろうと思っていましたからね。ところが翌朝出勤してきたら呼ばれまして、「リレーは中止する。それでリレーチーム解散」でしょ。こっちのほうが、ショックでした。

――リレーのチーム解散？

志村　それで「全員総がかりで電子化に邁進しなさい」と言うんです。こうして、私もリレーを全部捨てて、電子のグループに参画したわけです。

■開発チームには塩とビタミンが必需品

一転して、電子式計算機が主役になった。リレー式計算機の製造は即刻中止され、若者たちが本業の傍ら試作していたトランジスタ電卓が、急遽社運をかけるプロジェクトに格上げされたのである。昭和四〇年五月のことである。

この開発も、シャープと同じように、不安定なゲルマニウムトランジスタとの戦いに明け暮れた。

真夏の八月、隙間に目張りをしてにわかづくりの高温室がしつらえられた。室温は軽く五〇度を超えた。シャープのように事前に強制劣化で不良気味のトランジスタを除去する方法はとらなかった。

とにかく電卓に組み立てたうえで、それを高温室に持ち込んで劣化するトランジスタを逐次とり除いていったのである。したがって高温室に入っている時間が長くなった。しかし一刻も早く遅れを取り戻すために、体が許す限り中にとどまったというのである。

ここも見せ場の一つであった。ぜひとも映像が欲しいところである。にわかづくりの高温室には、物置同然になっていた小部屋を利用した。電卓開発チームの要員が、志村さんの目で選ばれた。温度試験のために高温室に持ち込んだ電卓は常に数台はあったと言うので、001号機に似せて藤田さんが三台分復元してくれた。

いよいよ再現シーンを撮影する段になって、志村さんが「塩とビタミンが足りない」と言いだした。

にわかづくりの高温室で奮闘するトランジスタ開発チームの要員たち

脱水症状が起きかけると水を飲んで耐えた

完成したカシオ001型電子式卓上計算機

「あのときは、倒れそうになると塩をなめ、ビタミン剤を口に含み、水をがぶ飲みしたんだ」とおっしゃる。水の飲み方も「違う違う、もっとうまそうに飲め」と、なかなか演出にはうるさいのである。
聞いてみると、当時は脱水症状が起きかけると志村さんたちは大量の水を飲み塩をなめ、ビタミン剤を摂取し、気力の続く限り電卓にへばりついていたというのである。リレーからトランジスタへの転換も、また体力が頼りの肉弾作業であった。

志村　当時はゲルマニウムトランジスタでしたから、温度に対する安定性が実に不安定でして苦労しました。トランジスタラジオなんかに使うぶんには、数が非常に少ないわけですから、あまり問題にならなくても、計算機になると数にして何千個ってトランジスタを使うわけですね。それらが温度に対してどのような動作をするのか、私たちにはまったくわかっていませんでした。

――それで?

志村　そういう装置がないわけですよ。たとえば低温でどんな誤動作をするのかを調べるには低温室が要るんですが、そんなのないわけですね。そこで役員の冷蔵庫を借りて使った。計算機を冷蔵庫の中に入れて冷やしてから計算ができるかとか。温めるのに、熱風をガーッと吹きつけてやるとか……。

――ドライヤーを使って?

志村　いえいえ。ドライヤーみたいな気の利いたものはありませんでしたから、電熱器を赤熱させておいて、扇風機を回すんです。

――ああ、まだドライヤーのない時代ですか?

志村　あとでは、大分ドライヤーが活躍しました。ドライヤーでバーッと熱していって、故障するところを調べた。ああ、ここのトランジスタが熱に弱いから交換しようといった具合にね。

――すると、熱風をトランジスタ単体に吹きかけたんですか？

志村　どのへんのトランジスタが悪いかっていうのはわかりますから、目指すトランジスタに、ドライヤーで熱風を吹きつけて動作状況を見るんです。

――なるほど。

志村　それは、ずっとあとのことで、最初は装置全体を熱したり冷やしたりする必要がありました。今でこそ高温・低温槽というのがあって検査する装置があるんですが、当時は手探りですから、どうやって検査したらいいのか見当もつかなかったんです。

――そんなにトランジスタが不安定だったんですか？

志村　ええ。朝と夜とでは計算の答えが違ったりしましてね。誤算したり、しなかったり、まちまちなんです。

――朝はうまくいって、夜は駄目？

志村　そう、そういうことが、しょっちゅうあるわけですよ。これはどうも温度変化に関係するんじゃないかと気がつきましてね。思い切って冷やしてみようじゃないかということで、重役さんの冷蔵庫を調達したり。それでも満足できないで、冷凍庫はないかとか。まったく手探りで、いろいろな実験をずいぶんやった覚えがあります。

――本当は信頼性の保証されたトランジスタだけを使えばよかったんでしょうけどね。

志村　トランジスタをつくってるほうでも、よくわからないわけですからね。全部悪いわけじゃ

ないし、たまたまそういうものがあるから、それを見つけ出して交換しなければいけなかった。要するにいっぺんにトランジスタを何千個使うなんて商品は、他にはなかったわけですから。

——なるほど。

志村　トランジスタメーカーのほうも、ちゃんとやってちゃ数が確保できないから、高いの安いの言う前に、トランジスタの数を確保するのが先でした。ですから向こうも沢山つくって、特性もバラバラの商品ができてきた。

——それを使う側が選んで使った？

志村　最初は一個一個テストして選り分けようとも考えたんですが、それじゃ間に合わない。そこでトランジスタをセットに組み込んでから、装置全体を熱したり冷やしたりしてテストした。そのうえで、どこが誤算するから、そのトランジスタを変えていくと。まったく付け焼き刃的なことでやったんですね。

——とにかく大量に買って組み立てて……。

志村　そういうことです。

——できた装置を冷やしたり温めたりして、強制的に故障を起こさせて、その原因を突きとめて取り替えると。

志村　ええ。ですから、生産段階に入ってからも、開発者たちはジャンパーを重ね着して冷凍庫に入ってみたり、今度は暑いところへ裸で入ってテストしたり。ですからテストされているのは、装置じゃなくて人間の耐久力だったような気がしました。どっちがテストされて

るのかわからなかった（笑）。

——肉体的には、過酷な作業でしたね。

志村　そりゃ、もう本当に肉体的限界までやりましたよ。一日のうちに寒いところと暑いところを行ったり来たりするんですから。ビタミン剤と塩の錠剤をしこたま用意しておいて、それを水で流しこみながら耐えたんです。

——なるほど、電卓残酷物語ですね。

志村　アハハハ。

カシオ001の諸元は、次の通りである。大きさが横幅三七センチ、高さ二五センチ、奥行き四八センチ。重量一七キログラム。消費電力四〇ワット。使用トランジスタが五〇〇個、ダイオード一一〇〇個。テンキー。表示一〇桁。計算は二〇桁の加減乗除。価格が三八万円。こうして早川電機工業、キヤノンに続いて、樫尾製作所が電卓市場に参入を果したのである。昭和四〇年九月のことであった。

超小型磁気コアメモリー採用の電卓

東京秋葉原の電気街、その一角に建つ雑居ビルの六階にビジコン社がある。昭和三五年に英国製の真空管式卓上計算機アニタ・マーク8を最初に輸入した日本計算器が後に社名変更したのが、ビジコン社であった。熾烈な電卓戦争の過程で昭和四九年には倒産に追い込まれて電卓市場から撤退したが、その後規模を縮小して事務機関連の分野で営業を続けていた。

ビジコン社が、日本の電子産業に果たした役割は小さくなかった。その節目は三つある。一つが、これから述べる「ビジコン161型電卓」の発売。二番目が、昭和四六年のワンチップ電卓「ビジコン・ハンディLE120」の発売。三つ目が、同じ年のマイクロプロセッサー搭載の電卓「ビジコン141」の発売。

いずれも日本の電卓産業やマイコン産業に大きな影響を与えた事件であった。ワンチップ電卓のことはこの巻の後章で触れ、マイクロプロセッサー搭載の電卓については次巻（完結巻）で詳述するが、ここではビジコン161型電卓の登場について述べることにする。

日本計算器の小島義雄社長は、アニタ・マーク8を最初に見つけて日本に持ち込んだ人物であったが、彼もまたアニタに刺激された電子式卓上計算機の開発に着手した。ただ彼の場合は、アニタの模倣を避けて独自の商品に挑戦した。磁気コアを記憶装置に利用する方法を模索したが、なかなか実現しなかった。

そんなとき、イタリアのモンテイ・カティーニ・エジソンが、超小型の磁気コアメモリーの開発に成功、「イメ」という計算機に搭載した。日本計算器はその特許を買って自社製電卓に応用し、「ビジコン161型電卓」を開発製造した。一六桁の加減乗除と平方根の計算が瞬時にでき、メモリーつきで二九万八〇〇〇円。当時シャープの電卓が、一四桁の加減乗除のメモリーなしで四三万五〇〇〇円であった。昭和四一年七月のことである。

小島　私どもがつくりました161型電卓には、小さなコアメモリーを使っていました。イタリアのモンテイ・カティーニ・エジソンのイメという計算機に非常に影響されまして、超小型コアメモリーを電卓に使ったんです。そのコアメモリーはわずか一〇センチ四方の面積

に縦横一六本のエナメル線が網戸のように張ってあって、その交点にアズキ粒ほどのリング状ファライトコアが二五六個もまたがっているといった精緻な構造で、さすがイタリア人の独創的な才能から生まれたものでした。

――なるほど。

小島 記憶装置にこれを使ったためにトランジスタの使用数が激減し、当時としては想像を絶する高性能機を低価格で市場に出すことができました。

――なるほど。

小島さんは新製品発表の広告を載せた新聞を持っていた。次ページの写真Aがビジコン161で、写真Bがその広告である。日本では珍しい戦闘的な比較広告である。コピーは「日本計算器の〝ビジコン161〟の出現で、これまで電子式卓上計算機に一五万円も余計にお払いになっていたことになります」と挑発的でさえある。そしてビジコン161の写真の下には写真Cのようにシャープ、キヤノン、カシオ、東芝などライバル四社と、ビジコン161の諸元比較表が載っていた。諸元のどれをとっても、ビジコン161のほうが圧倒的に優れていた。

ビジコン161型電卓は、製作したビジコン社にもなかった。超小型磁気コアメモリーがどんなものだったのか映像に記録して、高性能低価格の秘密を証拠だてる必要があった。目指す電卓は英国のブリストル市に在住のピンター・ブロートン氏が持っていた。彼はかつてビジコン製品を扱う事務機器販売会社を経営していたが、扱った製品のいくつかを大切に保存していたのである。超小型磁気コアメモリーは、写真Dのような葉書大の記憶装置であった。細いエナメル線を網戸のように縦と横に張ってあり、すべての交点にアズキ大のリング状磁気コアがまたがっていた。

A　ビジコン161型電卓（日本計算器製）

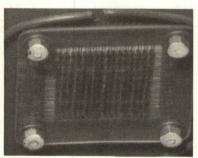
他社製品との性能・価格比較

	価格（円）	桁数 加減	桁数 乗算	桁数 除算	桁数 開平算	桁数 メモリ	
ビジコン 161	298,000	16	16	15	8	16	○
トスカル1001	360,000	10	19	10	—	—	○
キャノーラ 130	360,000	13	13	11	—	—	○
キャノーラ 161	445,000	16	16	14	—	16	○
コンペット 21A	435,000	14	14	13	6	—	○
コンペット 30A	425,000	14	14	13	—	14	—
カシオ 001	380,000	10	20	9	—	10	○
カシオ J001	435,000	10	20	9	8	10	○

C　広告につけられた性能・価格の比較表

B　ビジコン161の新聞広告

D　超小型磁気コアメモリー

——本当に戦闘的というか挑戦的というか、日本では珍しい広告ですね。

小島　ええ、それほど新製品に絶対の自信をもっていました。ところが、この話を聞きつけた事務機工業会から強烈な圧力がかかったんです。

——どういうわけですか？

小島　それは、ものすごいものでございましてね、「新製品の発表を中止せよ」ですよ。

——何の発表をやめろですか？

小島　新聞発表を中止せよと言うのです。

——その161型の電卓をですか。

小島　ええ。この日の早朝、事務機工業会の会長をしていらっしゃいました佐藤さんとおっしゃる方が、朝七時に私どもの事務所においでくださいまして、開口一番「本日の発表を中止されたい」と、強硬に言い張るのです。

——何でやめろと言うんですか。

小島　やっぱり日本はそういう国柄なんですね。

——理由は？

小島　それはもうただただ、無用な競争をするな。電卓というものは、シャープとキヤノンの二社が市場をつくって順調に伸びているんだから、そのようなマーケットに、ダンピング製品を持ち込むのはけしからんと言うんです。

——それでどうなさったんですか？

小島　私どもは断固としてお断り申し上げたものですから、佐藤さんはお帰りになったんですけれども、いよいよ記者発表の時間直前に今度は通産省の課長から電話がありまして、「発表は絶対にやめろ」ということなんですね。

——それでも断った？

小島　もちろんです。私は「ダンピングじゃございません。これは技術の革新なんです。私どもの製品が安くできたのは、コアメモリーを日本で初めて電卓に採用したから可能になったんで、技術のイノベーションです。技術が進歩したから高性能な商品を安く供給できたんですから、ダンピングではありません。したがって、発表中止などとんでもありません」

すから。私どもが断固強行してしまったんですね。

――理不尽な圧力をかけるものですね、通産省も。

小島 はい。これが電卓戦争の始まりだったという方もいらっしゃいますね、私どもの「161型」登場が。

――さて、新製品発表の反響はいかがでしたか？

小島 ものすごいものでした。圧倒的に性能が優れ、値段が一五万円も安いわけですから、一大センセーションを巻き起こしました。もう大騒ぎですね。もう大変な人気で、たちまちにしてマーケットシェアを一〇パーセント確保しまして、さらに一五パーセントを超えて伸びようというときに、なぜか三菱電機から必需品のダイオードがそれ以上入らなくなってしまった。ダイオードは三菱電機につくってもらっていたんですが、それの供給を増やすことができないと言われたんです。そんなわけで、三菱電機さんのダイオードの数に制限されて、シェアは伸びなくなったんです。

こう言って小島さんは、無言のままじーっと私たちを凝視し続けた。その沈黙の間(ま)は、「だれが三菱電機に手を回して、ダイオードの供給を止めさせたんでしょうかね」と言いたげであった。企業間の過当競争を防ぐために後発企業の参入を好ましくないと考えた通産省、通産省の行政指導に頼って先発権益を守ろうとした企業、双方にとってビジコン社の頑張りは、目の上のたんこぶであったに違いない。事務機工業会と通産省双方からの強い申し入れを無視して、衝撃的な製品を発表したしっぺ返しが、部品供給の制限だったようである。

電卓のみならず事務機械全般について、いつどんな製品が市場に出ていたのかを知るいちばんの手がかりは『ビジネスマシー・V イヤーブック・日本事務機械年鑑』である。具体的商品名とそれぞれの諸元や製造メーカーおよび販売会社などが各年度ごとに記載されているからである。

この年鑑を長い間発行してきたのがビジネス通信社（現在はオフィス研究所）の社長である安部健吾さんであった。やがては電卓戦争の裏面史を書きたいと考えておられる安部さんであるが、「ビジコン161」が登場した当時『週間ビジネスマシーンニュース』を発行していた。

彼は画期的イノベーションを果たした電卓として、「ビジコン161」の特集号を出そうと考えた。しかし、なぜか広告が一コマも集まらなかった。当然の帰結として特集号の企画は実現しなかった。そこで安部さんは広告の一斉停止の真相を追求した。その結果、彼は先発メーカーと通産省の強い意思を感じたというのである。

さて、このへんで目を国外へ向けてみることにしよう。すでに見てきた通りアメリカには、戦前から有名な電動計算機のメーカーがあった。モンロー、スミスコロナ、フリーデン、NCR、バローズ、レミントン、ビクター、ワイリー、ウオングなどである。またヨーロッパにもスウェーデンのファシット、イタリアのオリベッティー、ドイツのキンツレーやバンデラーなどが技術を競っていた。

市場が電動計算機から電子卓上計算機に移行したとき彼らは、同じ電子式でも科学計算などに使える高級機の開発を指向した。やがて彼らは当然の帰結としてミニコンの開発に進んでいくのだが、その一方で日本のような簡易で安価な電卓の市場も捨てようとはしなかった。そこでアメリカの電動計算機メーカーは競って日本の電卓メーカーとOEM（委託製造）契約を結ぶのである。バローズはシャープと、モンローはキヤノンと、ワイリーおよびNCRは日本計算器と、レミントンはカシオと、そ

の他スウェーデンのファシットもシャープとOEM契約を結んで自社ブランドの商品を製造させたのである。

日本側の電卓メーカーにとってこのOEMは渡りに船であった。まだ資本の蓄積も技術の蓄積も充分でなかった電卓メーカーにとって、OEM輸出は計算機技術を吸収し外貨を獲得し資本力をつけていく最も確実な方法であった。

日本ビジコンの小島義雄社長の記憶によると、当時製造した電卓の七割以上がOEM輸出であったという。この比率は他のメーカーもほとんど変わらなかった。したがって日本の電卓市場がスタートした当初、経済基盤の脆弱な電卓メーカーはアメリカのOEMをすることで資本を蓄積し、生産量を確保しコストを下げることができ、併せてアメリカの品質管理手法やMIL規格（軍事規格）やアメリカ市場の特質を学ぶことができたというのである。

米でのICの大衆商品への採用促進

一九六〇年代、アメリカのIC産業に大きな需要をもたらしたものは、宇宙開発と軍需産業であった。それが、六〇年代後半から宇宙・軍事に代わって、商用コンピューターのメーカーが大量のICを使うようになる。バイポーラIC（プレーナ型トランジスタを集積したIC）が、性能および信頼性とも飛躍的に向上し、しかも価格が下がり、安く使えるようになったからである。航空機の電子化、電話交換機の電子化、オフィス事務の電子化、研究開発や設計作業を支援する機器の電子化など、コンピューターの用途が目をみはる勢いで広がり、それらのすべてが、大量のICを使うようになった。

しかし、それらの用途は、個人が使うパーソナルな機器に比べれば、必然的に需要は限られたものになるのは当然であった。ICが現在のように産業の必需品になっていくには、それを大衆商品に使うという過程が必要であった。商品の性能や品質や価格の優れたほうが必ず勝つという単純明快な市場原理にパスしなければ、企業が生き延びることができなかった。

そういう意味で大衆商品の市場は、国防総省やNASAよりははるかにきびしい要求を半導体メーカーに突きつけたのである。価格不問で高性能・高品質を要求する宇宙・軍事よりは、低価格で高性能・高品質を実現しなければならない大衆商品市場のほうがはるかに過酷であった。

しかし同時に、大衆商品は軍事や宇宙などとは比較にならないほど膨大な需要を半導体メーカーにもたらし、その結果コストは激減し、価格が急落したのである。これが、電卓戦争を通じて日本の半導体メーカーが急成長を遂げていった大きな要因の一つであった。そのことを検証していくのがこの巻全体の狙いであるが、ここではアメリカの電卓開発を見ておくことにしよう。

宇宙開発と軍需産業に支援されて性能が高まり、価格が下落したIC。これを大衆商品に使うことができないだろうかと考えた人たちがいた。一人は、先に紹介した日本人の佐々木正さん。電卓開発のために神戸工業（後に富士通に合併）から早川電機工業（現在のシャープ）に招聘され、取締役常務に就任した人である。もう一人が、テキサス・インスツルメンツ（TI）社の社長パトリック・ハガティー氏。

佐々木さんの活躍については後に詳しく述べることにして、ここではパトリック・ハガティー社長が率いるTI社の電卓開発を見ていくことにする。

パトリック・ハガティー社長は、TI社を一石油探査機器会社から世界的な半導体メーカーに脱皮

させた経営者である。上巻や中巻で触れたように、彼はベル研究所からゴードン・ティールという結晶の権威を招聘し、半導体研究所をつくらせた。ティール博士は、ベル研究所でショックレー博士とともに接合型トランジスタの研究に従事し、単結晶の引き上げやグロン（結晶成長）型のトランジスタの製造に成功した。当時、ショックレー博士と並ぶ世界的なトランジスタの権威であった。

ティール博士と彼が集めてきた研究スタッフで、まずグロン型のトランジスタを量産することに成功。ハガティー社長はそれを使って、世界初のトランジスタラジオをつくらせた。これが、若者たちの間に爆発的なブームを巻き起こした。こうしてテキサスの小さな石油機器メーカーは、トランジスタの製造で莫大な利潤を手にし、世界的な半導体メーカーへの道を歩み始めるのである。

ゴードン・ティールが母校のブラウン大学からスカウトしてきた人材のなかにウィリス・アドコックがいた。今度はアドコックがジャック・キルビーを発掘してくるのだが、入社間もないキルビーが集積回路を発明。これを武器にＴＩ社は、空軍のミニットマン・ミサイルの計画に深く食い込んでいく。こうして、ＴＩ社は世界的なＩＣメーカーに急成長を遂げたのである。

パトリック・ハガティー氏

では、その時代パトリック・ハガティー社長が何を考えていたのか、ウィリス・アドコックさんに語ってもらうことにしよう。

繰り返しになるが、アドコックさんの経歴を簡単に触れておく。第二次大戦の始まる前にブ

ウィリス・アドコック氏

ラウン大学に入学し、化学を専攻した。戦争中は大学を離れ、テネシー州のオークリッジでガイガーカウンターの開発と、水中爆薬の研究に従事。戦後になって大学に戻り、物理化学および電気工学の二つの学位を取得。インディアナ州の石油会社シロル社に就職したが、一九五三年、ゴードン・ティールにスカウトされTIに入社した。彼が在職中果たした最も大きな業績だと誇るのが、ICの発明者ジャック・キルビーの発掘であった。キルビーが発明したICを空軍に売り込んだのも、アドコックの力によるところが大きかった。後にゴードン・ティールのあとを継いで研究所の所長に就任。そこを退職後、テキサス大学に招聘され、現在工学部の教授である。

アドコック　半導体の発達史を考える場合、TI社の社長パトリック・ハガティーの果たした役割を見逃すわけにいきません。トランジスタラジオを世界で最初に世に送り出しましたが、集積回路を普及させた点にも大変な功績があります。彼には一つのビジョンがありました。集積回路が、やがて電子機器の中枢になると見通したのです。集積回路を利用すれば電子機器はコストが低く、信頼性が高く、そして多様性に富んだものになると考えました。彼の予測通り、今日ではわれわれが使っているほとんどすべてのものに、集積回路が使われています。腕時計、補聴器、ラジオ、テレビと。そうした考えに基づいて、彼が号令をかけて開発させたのが電卓でした。パットがねらったことは、ミニットマン・ミサイルの誘導コンピューターをつくる過程で開発された集積回路の技術を大衆商品に生かすことでし

た。ミサイルの誘導コンピューターを大衆が手にとるわけにはいかないが、計算機なら一般消費者が使える。ですから、文字通り大衆が手のひらで計算できるポケット計算機を開発すべきだと考えました。

——それで？

アドコック　われわれは市場調査を行って、だれがそういった小型計算機を求めているかを調べました。ところが、そんなものを欲しがっている人は、だれもいないという結果が出たのです。すでに卓上用の電子計算機が市場に出ていましたから、人々がポケット計算機をさらに欲しがるはずがないというのです。しかし、それでもパットはあきらめないで頑張りました。彼は「市場調査なんかはとるに足りないものだ」と言い、ポケット計算機の試作を私たちにさせたのです。

社長からのポケット電卓開発特命

ＩＣ市場では西海岸のフェアチャイルド社と並んで圧倒的な強みを発揮していたＴＩ社のパトリック・ハガティー社長は、得意とするＩＣの応用分野を一般商品の分野まで拡大したいと考えた。当時はすでにアメリカにも電子式卓上計算機が次第に普及しつつあった。と言っても、それは文字通り机の上に置いて使う卓上大型計算機であった。これを胸ポケットに入る大きさまで小型化できないものかと、ハガティー社長は考えた。

社長が思いついたポケット計算機が本当に市場性があるのかどうか、ＴＩ社では市場調査を依頼し

ジャック・キルビー氏

た。結果は、否定的な予測を出していた。それでもハガティー社長はあきらめず、試作開発だけでもやらせてみることにした。特命が集積回路の発明者ジャック・キルビーに下った。彼は当時、開発研究所の所長として開発部門全体の責任を担っていた。

キルビー　実は私たちは電卓が必ずしも必要だと思って、開発に着手したのではないのです。むしろ、どちらかというと集積回路というものが非常に応用範囲が広くて、広範な製品に対して使用できることを示したかったんです。ですから、集積回路の有用性を訴える道具として、計算機を選んだと言ったほうが正確だと思います。

——どんな計算機を考えたんですか？

キルビー　もともとの目的は小型でポケットに入れて持ち運びでき、電池で動くものであり、加減乗除という四つの基本的な計算機能がついているものと考えました。

——小売価格はいくらでしたか。

キルビー　この最初のユニットは今言ったように、技術伝達の手段であって、売り物ではなかったんです。後に計算機が最初に市場に出たときは、数百ドルとかなり高かったようですがね。

——あなたは、それをご自分だけで開発したのですか？

キルビー　違います。貢献した人は数人いて、大半はプロジェクト責任者のジェリー・メリマンがやったことです。他にもジム・バン・タッセルがキーボードなどで貢献しましたし、そ

の他にも数人関係者がいましたが、私はたまたまそのときの上司に過ぎません。
——熱プリンターは、あなたが発明されたと聞きましたが?
キルビー　いえ、それは正確ではありません。熱プリンターはすでにあった技術で、他の目的にも使われていました。私たちはその原理を電卓に採用して、半導体製の超小型のプリンティング・ヘッドをつくっただけなんです。
——熱プリンターの技術は、すでにあったわけですね。
キルビー　そうです。
——製品としては、市場に出なかったんですか?
キルビー　そのときは、TIはそれをすぐには市場に出さないことにしました。しかし、その設計を結局キヤノンが買いにきましたので売却し、キヤノンがそれを製品化しました。
ジャック・キルビーさんのみならず、アメリカ人の関係者にインタビューして感じる共通点がある。それは科学的な発見や開発した技術の細部まで、だれの功績かということが実に明確であるということである。
日本の場合は、ある技術について「だれがやったこと」かと問うと、多くの場合は「みんなでやった」ということになる。強いて問いただすと、おおむねそのときの上司の名前に落ち着くのである。根掘り葉掘り聞いていって、ようやく技術のディテールが、それぞれだれの発想や思いつきによって実現したのか判明してくるのだが、それがわかるまでには時間がかかる。聞かれた上司も、積極的には固有名詞を語ろうとはしない。
聞いてみると日本の開発は知的共有主義みたいな側面があって、どこまでがだれの業績なのか判然

としない。一言叫んだ言葉がブレークスルーのきっかけになったとしても、それは単なる一声に過ぎず、個人的な発想が果たした意義よりも和がもたらした成果と考えるのである。そしてブレークスルーのきっかけになった個人よりも、グループの和を調整した管理者のほうが評価されるのである。
そうした日本的な開発風土に比べると、キルビーさんの姿勢は実に明確であった。自分の果たした役割、他人が築いた業績、部下一人一人の果たした功績などを実に正確に把握し、評価していた。

携帯用計算機の論理設計

本題に戻ろう。ハガティー社長の要請を受けたキルビーさんは開発チームを組織し、その運営を最も信頼する技術者、ジェリー・メリマンに託したのである。
キルビーさんが全幅の信頼を寄せていたジェリー・メリマンさんの略歴は、ご自身の語ったところによればこうである。一九三二年にテキサスで生まれ育った。少年時代からラジオの製作に熱中し、一二歳のときには、どんなラジオも修理できるようになっていた。一五歳のときには、産業界ではまだ知られていなかったオシロスコープを設計し自作した。
一九四九年から五二年、および五七年から五九年にかけてテキサス大学工学部に在籍。大学に通いながらラジオ放送局のチーフ・エンジニアとして働いたり、テキサス大学の海洋気象プロジェクトに参加。ハリケーン襲来時の波動を電子的に計測し、損害を予測するのが仕事であった。アメリカ空軍通信隊のために小型コンピューターを設計したり、マイクロ気象学に関係するさまざまな計測機器を設計し製作したり、ＴＩ社に入社する以前に数々の会社に勤務し、数々の業績を挙げていた。

ＴＩ社に入社したのは一九六三年、集積回路のデザインを習得したあと、ＩＣによる広帯域高速リニア・アンプを設計。続いて、ディジタル機器のための超高速高感度アンプを設計。併せて、そのために新しい構造のトランジスタを開発した。入社以来二七年間ＴＩ社に勤続、取得した特許は二五件に達し、その功績でＴＩフェロウと呼ばれる特別待遇従業員になっていた。会社の方針に拘泥せず、やりたいテーマを自由に研究できる職制上の待遇がＴＩフェロウの制度であった。

メリマン　一九六三年（昭和三八年）にＴＩ社に入社してすぐ、私はキルビーさんと親しくなりました。当時彼はセミコンダクター（半導体）の開発研究所の所長をしておりましたが、私も半導体開発研究所に在籍していました。彼は私たち研究員のトップでしたが、いつも研究所の中を歩き回ってみんなに声をかけ、研究員たちが今何をしているのかを常に把握し的確な助言を与えてくれました。私もしばしば助言を受けましたが、ある日キルビーさんが、「どうしたら合理的なシフト・レジスターができるだろうか」と聞いてくれたのです。

――それで？

ジェリー・メリマン氏

メリマン　そこで私はそれほど苦労もせずに、コンパクトで効率のいいシフト・レジスターをつくってみせたのですが、その当時の私にはわからなかったんですけれども、あとから知ったところでは、それがＴＩ電卓の先駆になったわけです。

――なるほど。

メリマン　私が初めて計算機計画のことを聞いたのは、一九六

五年（昭和四〇年）九月頃のことでした。ある日キルビーさんが多くのエンジニアたちを集めてミーティングを開きまして、問題を提起しました。

——それは？

メリマン　キルビーさんはまず、パトリック・ハガティー社長の将来ビジョンを話しました。彼の考えでは、エレクトロニクスの発達で、人々は間もなくパーソナルユースの計算機を持つようになるだろうということでした。「私もパットの考えには賛成なんだが、やがて人々が自分専用のコンピューターみたいなものを持って歩く時代が来ると思うんだ。何かボタンのようなもので問題をインプットすると、たとえばネオン管のようなものに答えが表示され、しかも、それが電池で動く。こんな装置ができないものかと考えているんだが……」とキルビーさんが言って、テーブルの上にあった一冊の小さな本を取り上げました。「この本のサイズよりも大きくない程度のものがつくれれば最高なんだがなあ」と言って、キルビーさんは私たちの反応をうかがいました。これが電卓計画について、初めて聞いた話でした。

——その当時TI社のほかに、どこかの会社で同じような製品がなかったのでしょうか？

メリマン　いえ、携帯用の計算機というものはありませんでした。一九六五年当時は、計算機というのは機械式とか電動式が中心でした。やがて電子式のデスクトップ型の計算機がつくられましたが、数字を表す表示装置は大きなブラウン管でした。しかも単純な計算しかできませんでしたし、非常に重くて大きな電力が必要でした。値段も何千ドルというものだったでしょう。そんなものが、ようやく市場に現れ始めた頃でした。

――それはICを使っていたんですか。

メリマン　ええ、まだLSIではなくて、ICでした。一〇〇個以上ものICを配線して使っていました。したがって計算機の容積も大きいし、電力も食いましたが、それでも単体のトランジスタを、三〇〇〇個も四〇〇〇個も使うよりは経済的でした。

――なるほど、それで。

メリマン　ミーティングでは、一体どうしたらハガティー社長やキルビーさんが考えるようなポケット計算機がつくれるかという話し合いになりました。もちろん電池で動かなければなりません。電池で動かすということになると、消費電力の非常に少ないものにしなければなりません。その方法は、だれも思いつきませんでした。

――なるほど。

メリマン　それはもう、侃々諤々(かんかんがくがく)の議論が交わされました。このような形でできるとか、あのような論理でできるかといろいろ話がありましたが、その計画のうちの一つはコンピューターの計算機能だけを使おうという考えでしたが、そうなると、大きさが一部屋を占領するぐらいになってしまうのです。

――何通りのアイディアが出たんですか?

メリマン　三通りです。二番目のアイディアはカウンティング・レジスターといったものをつくって、それで十進法のまま計算をさせようというものでした。三番目の考え方が私の提案でしたが、十進法の数字はそのままにしておいて、それらをブロックごとに二進法の符号をつけていくという方法でした。いわばコンビネーション論理というようなものでしたが、

十進法と二進法をうまく組み合わせて使うことで、計算していこうという手法でした。

——結局どれが採用されたんですか?

メリマン　ミーティングで、キルビーさんが「三つのアイディアが出たというのは大変すばらしいことです。今日はこれで散会して、もう何日かかけてアイディアを熟成させたあと、もう一度お互いの方法を比べ合うことにしましょう」と言いました。

——なるほど。

メリマン　ミーティングが終わって会議室を出ると、私はすっかり興奮していました。というより、半分興奮気味で半分不安だったと言うほうが正確な言い方かもしれません。というのも、それまでハンディーな計算機という言葉を聞いたことがなかったものですから。計算というのは即コンピューターだと思い込んでいましたから、ハガティー社長が「ワーク・スライド・ルールのコンピューター(計算尺並みのコンピューター)」と言ったという話をキルビーさんから聞いて、私は大変感銘を受けたのです。そのとき社長は「やがて、それがコンピューターにとって代わるだろう」とさえ、予言なさったそうなんです。

——価格目標はあったのですか?

メリマン　大体ですけれども、ハガティーさんとキルビーさんは、たぶん最終目標が、一〇〇ドル以下の計算機をつくろうと思っていたようです。

——さて、その会議のあとどうなさったのですか?

メリマン　この話はもう少し続くんですけれども、その後三日間私たちは別々になりまして、それぞれの案を練り上げるために熟考しました。その結果、私は一つの方法を考案しました。

それは後に特許をとったアイディアなんですが、累算機と加算機をつくり、その二つを交互に切り換えていくことによって、最後の答えが累算機に出てくるというやり方を思いついたのです。

——なるほど。

メリマン　計算機開発のプロジェクトに参加する前に私は、別の会社でシフト・レジスターの仕事をしていました。私はそれをほんの少し手直しするだけで、理想的な累算機につくり変えることができました。

——なるほど。

メリマン　その後三日三晩かけて約八〇パーセントまで、計算機の論理設計図を完成させましたが、それは私の覚えている限りでは、四二〇のゲートをもっていました。それらは当然のことですが、ICに集積する予定でした。

ゲートという言葉が出てきたが、これは先に聞きかじりの知識を披露したように、論理回路のパターンである。ANDゲート、ORゲート、NOTゲートなどであるが、これらを四二〇も組み合わせて、計算機の論理設計をした。そして四二〇の論理ゲートは、当然のことながら何個かのトランジスタで構成されているから、全体では何倍ものトランジスタを使うことになり、それら全部と、それらを結ぶ配線などすべてを小さなシリコン結晶の中に集積する予定だったというのである。これがメリマンさんの話の要旨である。

メリマン　それからまた三日後に、再びミーティングが開かれました。私たちは競合する三つのアイディアを持ち寄って、検討を続けたのです。その結果、全会一致で私のアイディアが

より合理的であると決定されました。私の案があまり複雑すぎなかったことと、比較的小さな部品で済むことなどが、採択の理由でした。

――それで？

メリマン　私はキルビーさんに「まだ考えの八割くらいまでしか完成していない」と伝え、「今のところ四二〇ゲートしかありませんが、あと少なくともその数の四分の一ぐらいは、追加しなければならないと思います」と申し上げました。最終的には五三五のゲートが必要でした。

――キルビーさんは、なんとおっしゃったんですか？

メリマン　キルビーさんは「このプロジェクトを君の責任で進めてください。とにかく、それで計算機ができるかどうかを確認したいのです」と私に言いました。私は会社が何を欲しているのかということがよくわかりませんでしたが、おそらくＩＣというものが、計算機のようなパーソナルユースの道具にも使うことができるということを実証したかったのだと思います。

――なるほど。

メリマン　そうすることでＩＣの利用面を軍需から民需に転換していくのが、会社の本当の狙いだったのではないかと思います。大変複雑なＩＣも今や比較的安くでき、しかも計算機のような分野にも応用できることをお客様たちに示し、それをできるのがＴＩ社だということを広めたかったのだと思います。

■プリンターつきハンディー電卓の試作

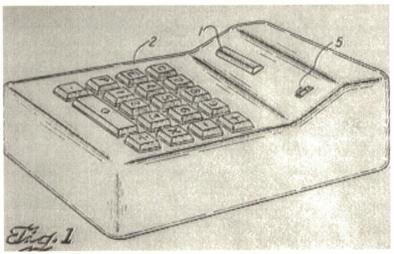
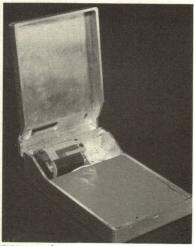
ＴＩ社は、聞いていた噂とは違って取材には大変協力的な会社であった。私たちの取材に対してさまざまな手配をしてくれたのは、かつて米陸軍の新聞『スターズ・アンド・ストライプス』の東京特派員として長く日本に暮らしたことのあるアメリカ人であった。こちらの要求に対して、労を惜しむことなく奔走してくれた。

だが、彼よりもっと懸命に走り回ってくれた女性がいた。ＴＩ社の資料室勤務のサリー・メリマンさん。名前から察する通り、彼女はジェリー・メリマンさんの奥さんであった。ご亭主の業績を記録すると聞いて、彼女は数ある資料のなかからメリマンさんに関する資料や、写真を丹念に選んでくれた。それがここに並んでいる写真である。

次ページの写真Ａは、グリッド・ボードと呼ばれる実働模型である。論理設計が完了したあと、それを回路に書きなおし、ＩＣを使ってバラックづくりに組み立てた、いわば模擬電卓である。これにキーボードをつなぎ表示装置をつなぐと、電卓として働くのである。回路を専用のＩＣに集積する前に、別の素子で実際に組み立てて駆動してみることで、論理回路や電気回路の欠陥や弱点を探るのである。

ここに使ったＩＣには、トランジスタ二〇個が集積されていたが、それでもバラック建てにすると、この大きさになった。逆の言い方をすれば、同じ回路を電卓専用のＩＣでつくることで、写真Ｂ以降でわかるように、片手サイズにまとめることができたとも言えるのである。

白い円で囲んであるのがキーボード。白い箱ごとに無数に林立しているのがプリント基板である。

A　グリッド・ボード（実働模型）

B　外観のスケッチ

C　ジュラルミン素材による模型（左の丸いのが感熱紙のテープリール。その下に、右のように電池を格納）

E　電卓の蓋を開けた状態

D　完成した電卓の外観

箱の側面に1から9までの番号がついているが、キーボードの数字ごとに回路がまとめられているに違いない。箱の上で髪の毛のように束になって弧を描いているのが、箱と箱を結ぶ配線である。撮影年月日は一九六六年(昭和四一年)年一月初旬、電卓プロジェクトがスタートして約半年後のことであった。

写真Bは、外観のスケッチ。それをジュラルミン素材でつくってみた模型が、写真Cである。二枚ともジュラルミン製の模型である。回路設計が終わったあと、ケースの中に何をどう配置するかを模型を使って検討したのである。左が、プリンター用の感熱紙のテープを置いてみた写真。テープの長さが二〇フィート(約六メートル)。印字可能文字数が四万字。右が、感熱紙テープ下に格納された一二ボルトのニッケル・カドミウム電池。一回の充電で可能な連続使用時間が四時間。バッテリーの重さ二分の一ポンド(約二二六グラム)。

写真Dが、完成した電卓の外観。縦五インチ(約一三センチ)、横およそ四インチ(約一〇センチ)、高さ一・五インチ(約四センチ)、重量四五オンス(約六三六グラム)全体は弁当箱の大きさで、重さは中身がつまった弁当箱ほどである。テンキーによる一〇桁の加減乗除。表示装置は感熱紙に印刷するサーマル・プリンター。紙テープを送る機構はマグネット駆動である。キーボードの下には「最初の計算機。P・E・ハガティーに贈る。一九六七年(昭和四二年)三月二九日」と記されている。

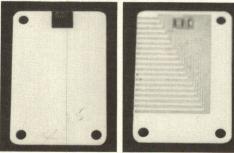
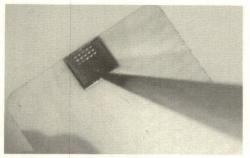
写真Eは、一号電卓の蓋を開けた状態。蓋の裏には直径二インチ(約五センチ)のウエハーが四枚。それぞれ入力制御、演算、記憶、プリンター制御を受け持つIC群である。

写真Fのように、一枚のウエハーに並ぶICは、横二四個ずつ縦一六列で合計三八四個である。ウエハー上のICチップは切り離さずに、写真Eのようにウエハーのままプリント基板にとりつけてある。ウエハーの外周についている三八四の端子につながる金のメタル配線が、パネルの裏側で結び合

わされて各機能回路を構成している。

この電卓に使ったＩＣは全部で一五三六個。一個のＩＣに搭載したバイポーラ型トランジスタが八個だから、四枚のウエハーでは、トランジスタ単体の数に換算すると一万二二八八個に達していた。

キーボードの開発は、バン・タッセル博士が担当した。ゴムのシートに金の配線を蒸着させ、それを使ってキー回路の開閉を行った。ディスプレー装置には当初ネオン管を使う方法が考えられたが、電圧が二〇〇ボルトも必要だったため他の方法を模索した。発光ダイオードは、当時はまだ実用段階に到達していなかった。まして液晶表示は、未知の技術であった。結局ジャック・キルビーの提案で、

F　ウエハー上に並ぶＩＣ

G　半導体製のサーマル・プリンターヘッド
（超小型発熱素子の表・裏）

H　発熱素子（鉛筆が指しているところ）

サーマル・プリンティングが採用された。

前ページの写真Gは、半導体製のサーマル・プリンターヘッド、超小型発熱素子の表と裏である。写真Hで、鉛筆が指している場所が発熱素子である。シリコンの小片に抵抗器をメッシュ状につくり込み、それに電流を流すことでメッシュ一個一個を瞬時に発熱させる。熱で変色する紙にこれを密着させると、電流が送られたメッシュだけが熱を発し、感熱紙に黒い点として転写される。その黒点の連なりが、全体で数字を描いていく。

当時はキャッシュ・レジスターなどにはすでに使われていた技術であったが、計算機には使われていなかった。信頼性を高めるためには、写真のような超小型のプリンター・ヘッドを工夫する一方で、化学紙のほうも改良する必要があった。これらのことを、同時にやらなければならなかったのである。

メリマン　サーマル・プリンターは縦三列横五列、合計一五個の小さなドット（点）をもっておりまして、それぞれのスポットは内部にトランジスタとレジスタをつくり込みました。それに電流を流しますと、一秒の何万分の一かの間に温度が摂氏二〇〇度以上に上がり、感熱紙に黒い点を転写することができるのです。この発熱スポットには非常に多くの電流が流れるんですが、そのスポットを制御するトランジスタに流れる信号は微小電流ですから、その設計は微妙で大変手間がかかりました。

――なるほど。

メリマン　このサーマル・プリンティングも、発明の一つの副産物と言うことができます。私どもの会社は、計算機のほかにいくつものサーマル・プリンティングの製品を市場に出すことができました。結果としてサーマル・プリンティング製品を、一〇億ドル以上売ること

ができたのです。その功績で、私は一九七八年にハガティー賞をいただきました。
――サーマル・プリンターはあなたが発明したのですか？
メリマン　サーマル・プリンティングという方法は、すでに以前からいろいろな形で存在しておりました。しかし、携帯用の電卓に使えるような低い消費電力で駆動できるサーマル・プリンターは、当時どこにもありませんでしたから、この開発は、非常に画期的だったわけです。

「ハンディー型ではなくポケット型を！」

社長のパトリック・ハガティーは鋭い経営感覚の持ち主だったようである。トランジスタに着手するのも、それをポケットトラジオという商品に結びつけるのも素早かった。ジャック・キルビーが発明したICを、軍需産業と結びつけるのも早かった。そして軍需用とICを民生品に使うという思いつきは、だれよりも早かった。

そんなハガティー社長にも短所があった。何事もせっかちに、結果を急がせたのである。資本の調達を株式市場に頼るために、株主向けに開発の成功をアピールしたかったのか、単にせっかちな性格だったのか、当人に会っていないので即断はできないが、彼を語る人々にはハガティー社長の性急さを挙げる人が多い。

メリマン　私たちの開発は一つの問題を解決し、その結果を見てから次の問題に取り組むといったやり方が時間的な制約からできなかったのです。当時のように切迫した状況のもとでは、

順を追って考えるというようなゆとりはありませんでした。ですから、あらゆる事柄について、同時並行的に進めていかなくてはならなかったのです。

――時間的な制約があったわけですか。

メリマン　そうです。ハガティーさんは大変せっかちな人でしたから、なんでも命令すると、六か月後には成功の証(あかし)を見たいというのが常でした。というのも、確か私も見たことがあるんですが、わが社の財務計画では私たちの試作開発が六か月後には成功することになっていまして、その完成を見越して書いてありました。それでも電卓の場合は、最初のミーティングから私がハガティー社長に完成品をお渡しするまで、一年半もかかってしまいました。

――予定の三倍も、時間がかかってしまったわけですね。

メリマン　でも、電卓は完全に電池駆動で、どこででも手に持ったまま操作できるものでしたから、要求されたすべてのことを解決していました。ですから、そのことを考えますと開発期間は非常に短期間だったと言わざるをえません。

――プロジェクトチームは、全部で何人だったのですか?

メリマン　もちろん間接的には多くの人たちの力を借りましたが、直接に関わっていた人というのは、そんなに多くはなかったのです。私以外には、若いエンジニアが一人とテクニシャンが一人でした。テクニシャンとは、このプロジェクト以前にも一緒に仕事をしており、またこのプロジェクトのあとも、いつも一緒に仕事をしてきた人ですが、すごく多くの仕事を、一人でこなしてくれました。もちろん私も一生懸命やりましたが、結局この電卓は、

二人でやり遂げたようなものでした。

——三人ではなかったんですか?

メリマン　私と一緒に開発に従事していた若者は、間もなく計算機のプロジェクトから降りて他に行ってしまいました。彼はこの計算機プロジェクトは満足なものをつくり出すことは無理だろう、やがて失敗するに違いないと思っていました。その点では、他の多くの人たちも同じ考えのようでした。

——何が困難だと。

メリマン　低電力な回路、集積回路、キーボード、ディスプレー、どれをとっても大きな壁であり、それらを全部解決して小さくまとめることは不可能に近い、あまりに難しすぎると判断していたわけです。

——それで。

メリマン　結局彼は、博士号をとるために大学に戻ってしまいました。しかし、結果は幸いなことに、彼のほうが間違っていました。つまり私たちは課題のすべてを解決し電卓をつくり上げ、それは実際に動いたのです。

——なるほど。

メリマン　何事でもそうですが、まったく新しいことをやろうとするときは、大きな一歩を踏み出そうとすると、たいていの人は、それを不可能だと考えがちなものです。結局、プロジェクトに残ったのが、私とテクニシャンだけになってしまいました。やがて、辞めていった人の代わりに、若いエンジニアが入ってまいりました。彼は非常にすばらしい技術をも

っており、プロジェクトには多大な貢献をしてくれましたが、彼が参加する前に私はほとんどのロジックを完成させていましたので、彼にはそれらを集積回路にする仕事を引き受けてもらいました。

――キルビーさんは、何をなさったんですか？

メリマン　キルビーさんは、私たちの仕事の成り行きをしっかり見守っていました。二、三週間ごとにやってきては、「調子はどうだい」と声をかけてくれました。私たちは「まあまあ順調ですよ」と答えますと、彼は「なかなかよくやっているようだね」というふうに勇気づけてくれたり、ときには私たちに正しい方向づけをしてくれました。

――つまり、キルビーさんは、大監督だったわけですね。

メリマン　はい。非常に深いレベルで、彼は私たちに必要なものを提供してくれました。たとえばお金ですとか、マシニングとか、プロセッシング処理をする人々も与えてくれました。それから最も重要なことは、会社のトップがいろいろな口出しをして、私たちの邪魔をしないように、キルビーさんが防波堤になってくれたのです。日々のお金の出し入れですとか、使用明細だとか、そんなことは、いっさい聞きませんでした。これは大変重要なことでした。彼は常に現場を徹底的に信頼し、どうすれば現場が自由に動くことができ、創造性が発揮できるかということだけを考えていました。しかも、けっして任せっ放しではなく、技術的な岐路では必ず的確な助言をしてくれました。キルビーさんのマネージングは、実に見事だったと思います。

ジェリー・メリマンさんたちが懸命につくった試作電卓だったが、結局ＴＩ社では生産されなかっ

た。市場調査の結果が、ハンディー電卓は売れないと断じたからである。計算は机に向かってするものであり、個人が持ち歩く必要はない。オフィスにはすでにデスクトップ型の計算機が普及しているのだから、ハンディー電卓など売れるはずがないと市場調査が告げていた。算盤というパーソナル計算機があまねく普及している日本とは違って、個人ユースの計算器具など消費者が欲しがるはずがないと判断したのである。

そんなわけで、試作電卓は生産されることなく終わった。もともとハガティー社長の目的が、新市場の開拓よりはICの応用性を印象づけることに重点が置かれていたのも一因であった。ハンディー程度では、印象が弱いと考えたのかもしれない。

——初めての実演公開では、ハガティー社長の反応はいかがでしたか?

メリマン　大変喜びましたが、完全には満足してくれませんでした。彼が望んでいたのはポケット型だったので、試作電卓は大き過ぎると言うのです。それですぐに続けて、ポケット型を六か月以内に開発してほしいとハガティー社長は言いました。

——なるほど。

メリマン　TIは六年後の一九七三年（昭和四八年）に、ポケット電卓を発売しました。非常に小さくてかわいくて、大変人気のある計算機になりました。確か売れたのが、二五万台だったとか聞いたことがあります。

——なるほど。

メリマン　他社でも一九七一年頃にずいぶんシンプルな、いくつかの計算機を開発しましたし、ヒューレット・パッカードがポケット型の科学計算機をつくったのは確か一九七二年でし

ポケトロニック（キヤノン製）

た。しかし一九六七年の時点で、手のひらサイズの電卓をつくったのは、

　私たちが初めてでした。

ところで、この電卓の設計図を買いに来た日本のメーカーがあった。後章で触れることになるが、電卓をめぐる技術開発はMOS・ICを使う競争になっていく。この競争で先頭を切ったのがシャープであったが、シャープを追撃するのキヤノンがTI社が開発済みの試作電卓の設計を買い取ったのである。

ただし試作電卓ではプレーナトランジスタを集積したバイポーラICを使ったが、キヤノンはそれをMOS・ICに変えて発売した。ICの設計変更と製造は、TI社が引き受けた。上の写真は、ジェリー・メリマン設計のTI電卓をMOS・ICに変えて、一九七一年にキヤノンから発売された電卓「ポケトロニック」である。詳細は後述する。

第5章

ナトリウム・パニックの謎

■ MOS・IC搭載への難問

ハンディー電卓の試作機がテキサス・インスツルメンツ（TI）社で完成したのが、一九六七年（昭和四二年）の七月であった。その頃、日本でもICを電卓に使う動きが始まっていた。前年の一九六六年（昭和四一年）から翌一九六七年（昭和四二年）にかけて、シャープからたて続けに発売されたCS30A、CS31A、CS32Aには、プレーナトランジスタを集積したバイポーラICが使われていた。

次ページの写真Aが、昭和四一年（一九六六年）に発売されたCS31Aである。デスクトップの大きさで重量が約一三キロ、消費電力二五ワット、表示装置はニキシー管、価格三五万円、ICは三菱電機2340の02番。それは、この本の冒頭で紹介したモレクトロンの発展した姿であった。

電卓にICを使おうと考え、奔走したのは佐々木正さんであった。繰り返しになるが、大正四年（一九一五年）島根県浜田市に生まれ、台湾で育ち、昭和一三年（一九三八年）京都大学工学部卒。真空管メーカーの神戸工業を経て、昭和三九年（一九六四年）に早川電機工業（現在のシャープ）の取締役に就任。シャープのみならず、電卓業界全体を大きく育てあげた人と言われている。

佐々木　私が神戸工業からシャープに来たとき、電卓はキャッシュ・レジスターと同じくらいの大きさでした。それに価格が四九万円でしたから、そんな大金を使える層なんて限られていまして、このままいったら商品としては成熟してしまうのが目に見えていました。ですから、当然の帰結として個人を狙わなければ電卓という商品には先がない。日本には算盤（そろばん）というパーソナル計算器があるんだから、算盤に負けてしまう。つまるところ結論は、電

B　ＩＣ電卓ＣＳ16Ａ（シャープ製）　　A　シャープ製のＩＣ電卓ＣＳ31Ａ

卓は個人がいつも持って歩けるようなものでなければならないと考えたんです。そうでなければ、個人が計算機なんか欲しがらないだろうと。そのためには軽くて小さくて安くしていかないと、個人ユースにはならない。電卓は個人ユースにならないと、絶対に伸びない商品だと見たんです。

――なるほど。

佐々木　個人ユースにするには、小型軽量もさることながら、何よりも値段を安くしなけりゃいけない。安くするためには、四〇〇〇個も使っている部品の数を減らさなければいけない。そんなときにＩＣというものが出始めたんですね。ＩＣになると、四〇〇〇個の部品が二〇〇個と二〇分の一に減るんです。それで目方も減るし、値段も下がる。こうなると、何がなんでも電卓はＩＣ化すべきだと考えまして、各半導体メーカーに電卓用回路をＩＣに載せてほしいと頼み歩きました。最初、電卓用のＩＣはバイポーラでしたが、三菱電機、日立、日電などがつくってくれました。

昭和四二年はめまぐるしく新製品が誕生した年であった。前半か

デスクトップのＣＳ31Ａ（シャープ製）の生産工場

らこの年にかけてバイポーラ型のＩＣを組み込んだ電卓が三種続けて発売されたが、これと並行してＭＯＳ・ＩＣを搭載した電卓も開発されていたのである。昭和四二年に発売されたシャープ製ＩＣ電卓「ＣＳ１６Ａ」は、日本で初めてＭＯＳトランジスタを集積したＩＣでつくられた。このＭＯＳ・ＩＣの製造を各メーカーに説得して歩いたのも、佐々木正さんであった。

日本電気も、佐々木さんに説得されたメーカーの一つであった。当時半導体事業部開発課長だった長船廣衛さんは、ＭＯＳ・ＩＣの難しさを次のように回想している。

長船　日本電気が最初に手をつけたＩＣは、プレーナ型を集積したバイポーラ型のＩＣでした。ＭＯＳトランジスタを集積したＭＯＳ・ＩＣは昭和四〇年から四一年頃にかけて着手しましたが、実際に生産できるようになるまで大変でした。

——そんなに難しいんですか？

長船　大学出の若いエンジニアにやらせたら、途中で泣きだしてね。

——えっ？

長船　とてもじゃないけど、こんな苦しい仕事は嫌だってね。

——情けないですね？

長船　ええ。それが今、鹿児島日電の社長やってますよ。

——あ、泣き出した方が？

長船　ええ。それほど大変だったんです。

——うまくいかなくて、投げだした？

長船　投げだしたんじゃなくて、泣きだしたの。

——抽象的に「泣いた」というんじゃなくて、実際においおいと泣いたんですか？

長船　そう。僕のところに来て泣くんですよ。「できない」ってねえ。

——涙ぽろぽろ？

長船　そう。男泣きにね。

——何に苦労したんですか？

長船　安定化にね。特性が時間的に刻一刻と動いていくんです。

——どんどん特性が、変化していくんですか？

長船　変化していく。アメリカじゃ最初はＭＯＳは駄目だと、投げていた技術だったんですね。ところが小さい面積に沢山のトランジスタを集積できるので、大変便利なもんですから。

■MOSトランジスタに脚光

MOS・ICはMOSトランジスタをシリコン結晶の中に集積したICである。では、MOSトランジスタは、どのようなトランジスタなのだろうか。MOSという略語は、メタル・オキサイド・セミコンダクター(Metal Oxide Semiconductor)の頭文字である。直訳すれば「金属・酸化膜・半導体」である。現在最も普及しているのが、このMOSトランジスタを集積したLSIである。記憶装置を組み込んだメモリー・チップから論理回路を組み込んだロジック用のチップまで、ほとんどがMOSトランジスタを集積したLSIである。

たとえば一メガのメモリーには、MOSトランジスタが一〇〇万個以上もつくり込まれているが、仮にそのうちのたった一個だけを抜き出して表現模型にすると、図24のようになる。MOSトランジスタには、N-MOSとP-MOSと呼ばれる二つのタイプがあるが、これはN-MOSと呼ばれるタイプのトランジスタである。全体の横幅が三ミクロン(一〇〇〇分の三ミリ)もない微小なものである。

図25は、実際の一メガメモリーに搭載されているN-MOSトランジスタ一個分の断面を電子顕微鏡で撮影したものである。各部分の番号と名称は模型と一致させてある。この写真を見てわかる通り、トランジスタはシリコン結晶の表層数十オングストロームの厚みの中につくり込まれているのである。

シリコン基板①は、P型にしてある。その表層部に二つのN型領域、ソースと呼ばれる②の領域と、ドレインと呼ばれる③の領域が、約一ミクロン(一〇〇〇分の一ミリ)の間隔をとってつくり込まれている。N型領域を島にたとえると、二つの領域に挟まれた部分は海峡(チャネル)である。この海峡部分の表層には、薄い酸化膜④を介して金属膜⑦が蒸着させてある。これをゲート電極と呼んでいる。

図24　MOSトランジスタの表現模型

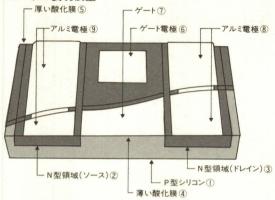



図25　N-MOSトランジスタ1個分の断面(電子顕微鏡で撮影)

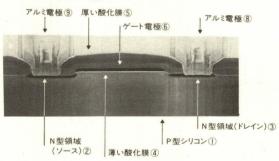
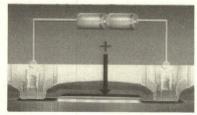



図27　ゲート⑥にプラスの電気を加える

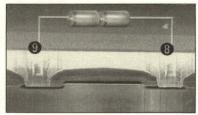



図26　電極⑧⑨の間に電池をつなぐ

ちなみにゲートは門とか入口という意味であり、ここを通じて電気を加えたり止めたりするのである。さしずめ、電気の入口という意味だろうか。金属膜⑦は、現在では多結晶シリコンが用いられている。これらの構造を厚い酸化膜⑤でいったん覆ったうえで必要な場所だけに窓を開け、アルミを蒸着させて電極⑥⑧⑨を取り出している。

仮に図26のように、電極⑧と⑨の間に電池をつないだとする。海峡部に注目していただきたい。特に何事も起きていない。次に図27のようにゲート⑥にプラスの電気を加える。つまり、シリコン基板の底にマイナスをつなぎ、ゲート電極⑥にプラスをつなぐということである。このときの海峡を見ると、白い線がソース島からドレイン島につながっている。つまり電気的には、海峡が導体になったのである。

簡単に理屈を言えば、こうである。

P型シリコンにつくられた二つのN型領域は、いわばP型の海に浮かぶ二つのN型島である。二つの島に挟まれたP型海峡に、プラスの電気をぎりぎりまで接近させる。そのための方法として、薄い酸化膜を介して金属膜に電気をつなぐのである。すると結晶の中に存在する「N型の電気の運び屋」が吸い寄せられて、表層部に集まってくる。そうなると、海峡は「N型の運び屋」で充満し、ソース島からドレイン島を結ぶ海峡が電気的には一体になり電気が通る、というわけである。

ゲートに加えるプラス電気を止めると、「N型の運び屋」は離散し海峡は元に戻り、電気を通さなくなる。海峡がN型に反転するので、これをNチャンネルMOS、あるいはN-MOSと呼ぶ。

MOSトランジスタには、もう一つ別のタイプがある。N型シリコンの基板に二つのP型領域をつくり、ゲートにマイナスの電位を加える。するとP型島に挟まれた海峡には「P型の運び屋」が層を

なし、海峡は電気を通す状態に転化する。海峡をP型に反転させるので、これをPチャンネルMOS、あるいはP-MOSと呼ぶ。

N-MOSとP-MOSをペアに組み合わせて使うC-MOSというトランジスタも後に登場するが、それは後述する。

MOSトランジスタも、接合型トランジスタと同じように増幅器として使えることは当然である。ゲート電極に信号変化を与えてやれば、チャンネルを流れる電流は相似形で変化する。ソース、ドレインを結ぶ回路に流れる電流を大きくとれば、ゲートに加える電圧の微小変化に従ってチャンネルには大きな電流変化になって現れる。したがってゲートに加える微小変化が、ドレインから大きな電流変化として取り出せるというわけである。

しかしMOSトランジスタの利用価値は、何より電子的な無接点スイッチとしての働きにある。リレー式計算機のところで触れた通り、電卓やコンピューターなどディジタル回路は膨大なスイッチ群の塊である。だから、MOSトランジスタは、ディジタル回路にうってつけの「電子スイッチ」だと言うことができる。たとえば0か1かを記憶する回路をコンデンサーを組み合わせてMOSトランジスタで組むと図28-Aのように一個ですむものが、プレーナ型などバイポーラ・トランジスタで組むと、図28-Bのように「TR1」から「TR8」まで四個から八個も必要であった。したがって同じディジタル装置をバイポーラ型でつくるのと、MOS型でつくるのとでは、トランジスタの使用数が格段に違う。MOS型を使えば激減したのである。

そのうえにMOS型は、バイポーラ型に比べて構造が単純なために形を非常に小さくつくることができた。これは、ICやLSIに集積するときには圧倒的な強みになった。集積密度を格段に上げる

図28A MOSトランジスタとコンデンサーによる記憶回路

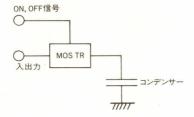
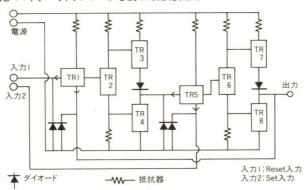



図28B バイポーラトランジスタを使った記憶回路

ことが可能であった。さらに、構造が単純だということは製造工程がバイポーラより少なくて済むということでもあった。したがって理論的にはMOS型は量産に向き、低コストで製造ができるはずであった。

　中巻の終わりのほうでフェアチャイルド社が実用的なICを開発するとき、シリコン内部のトランジスタ同士の独立性を保つために苦労したことについて述べた。ロバート・ノイスは接合隔離という方法を考案したが、それを実現するためにはあらゆる辛酸をなめなければならなかった。結局シリコン基板の上に新しい

図29 電界効果トランジスタの実験

図30 カーングとアタラによるMOSFET

シリコン単結晶の薄い層を堆積させて、そこに、プレーナトランジスタを集積することで接合隔離のための拡散を容易にすることができたのだが、このようにバイポーラICでは接合隔離のための複雑な工程が必要であった。ところがMOS・ICではこの接合隔離がまったく必要なくなり、工程がはるかに単純になる。しかも同じ機能を集積するのに必要な面積が、バイポーラに比べて一挙に数分の一で済むのである。

バイポーラ型に比べて低い電圧でも動き、電力消費量が少なくて済むことも長所の一つであった。やがて電池駆動の装置をつくるうえでは、MOS型のデバイスが圧倒的な強みを発揮することになる。集積回路が登場し集積度競争が起きてくると、MOSトランジスタが急に脚光をあびはじめたのは、以上のような特徴に原因があった。

MOSトランジスタは正確に表現すると、MOSFET(Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)と書く。直訳すれば、「金属酸化膜電界効果トランジスタ」。意訳すると、「酸化膜の上に貼った金属ゲートによって半導体結晶の中を流れる電流を制御する電界効果型のトランジスタ」という意味である。

FET(Field Effect Transistor)、つまり電界効果トランジスタは、ジョン・バーディーンやウォルター・ブラッテンなどが点接触

型トランジスタの発見をする直前にウィリアム・ショックレーとジェラール・ピアソンが試みていた実験であった。

前ページの図29のようにN型ゲルマニウムの両端の電池Aをつなぎ、狭い空間を介した電極に電池Bをつなぐ。すると、ゲルマニウム表層部に「電気の運び屋」が誘い出されて集まるためにゲルマニウムの伝導性が大きく変わる。つまり電気が通りやすくなるに違いない、と彼らは考えたのである。しかしこの試みは、失敗に終わった。次いで、ゲルマニウムなど半導体結晶の表面に厚さ七五ミクロンの溶融石英（二酸化シリコン）を付着させ、その上に金属膜を蒸着させて電極にした。今度はゲルマニウムの伝導度が、はっきりと変化した。これは明らかに、MOSFETの初期的な実験であった。しかし、この試みも結晶純度や表面処理技術が不完全で、現在のMOSFETとは程遠かった。これらの失敗の原因を追求する過程でバーディーン、ブラッテンの両博士が遭遇したのが、「固体による増幅現象」、つまり点接触型トランジスタの発見であった。

MOSFETの特許は、一九六〇年にベル研究所のカーング（Dawwon Kahng）とアタラ（M. M. Atalla）によって申請された。図30のようにN型シリコンに二つのP型領域をつくり、それらに挟まれた海峡部分には、酸化膜を介して金属電極を設置した。電極BD間に電池をつなぐ。電極Bにマイナス、DにプラスをつなぐとAC間に電気が通るようになる。二つのP型領域の間に挟まれたN型領域がP型に反転して、つまり反転層ができて、電気的には同じ性質を帯びるからである。これがPチャンネルMOSの発明であった。

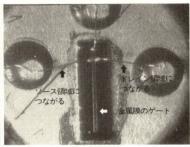
■日本のMOSトランジスタ研究

一九六〇年（昭和三五年）当時、日本におけるMOSトランジスタの研究には、各メーカーとも消極的であった。原理的には簡単で小さくでき、集積回路にはぴったりのトランジスタであったが、後に詳述するように、動作が非常に不安定で扱いにくく、一時は工業化できないのではないかと言われたほどである。したがって日本の半導体メーカーは、どこもMOSには二の足を踏んだのである。まして、MOSFETをICに集積するなど論外であった。まだ日本は従来型トランジスタを集積することにすら、苦労していた時代である。

それでも各半導体メーカーの何人かが、MOSFETの開発に取り組んでいた。たとえば、現在日立超LSIエンジニアリング代表取締役の大野稔さん（六四歳）も、当時武蔵工場生産技術部でMOSFETの研究に没頭していた。孤軍奮闘であった。従来型のトランジスタが全盛の頃である。

次ページの写真（上）は、大野さんが試作したMOSFETである。左が缶を破って中を見たところ。右がシリコン結晶につくられた単体のMOSFETである。縦に三本の長い線が光っているが、真ん中の線が金属膜のゲート。左の線がソース領域につながる電極、右がドレイン領域につながる電極である。構造が簡単で動作原理が単純だから絶対に将来性があると、大野さんは信じていた。

しかしMOSFETは、工業化に向かないとさえ言われていた当時のことである。そんなMOSにうつつをぬかす大野さんには、「役に立たない技術に熱中する変わり者」という評判が立った。

大野稔さんが名古屋大学の大学院から招聘されたとき、武蔵工場の人たちは大野さんを半導体の専門家と期待したが、すぐにそうではないと知って失望した。やがてRCAのマニュアル通りにやるの

単体のＭＯＳＦＥＴ。（左）ケースを破ったところ。（右）中央の線が金属膜のゲート。左の線がソース領域に、右の線がドレイン領域につながる

ＭＯＳＦＥＴを試作する大野氏

は不満だとシリコンの研究を希望した大野さんを見て、人々は彼はわがままな男だと思うようになった。間もなく、武蔵工場が一丸となって危機に立ち向かわなければならないときがやってきた。プレーナ特許の独占使用権を買った日本電気に対して、独自技術で対抗することになったからである。そんなときも彼は、MOSFETの研究に熱中していた。

大野　当時の日立には、プレーナ技術に対する考えが二つありました。プレーナが本命だという考えと、独自技術でいくべきだという考え。これはやがてLTPに結実して、武蔵工場の主要製品になったんですね。

——大野さんは？

大野　私はプレーナ技術が本命だと思っていまして、プレーナ型の研究もしていました。将来はバイポーラのICはプレーナでつくり、電界効果トランジスタはMOSでやるべきだと考えていました。

——国産技術で突破しようという、会社の本流から外れていた。

大野　それに私は、オーディオマニアでしてね。ところが、バイポーラ・トランジスタは増幅原理が電流制御のため、雑音が多くなる。雑音が少なくて特性の良いアンプをつくるには、オーディオマニアとしては、真空管のような電圧増幅型のトランジスタが欲しい。それが可能なのは、電界効果トランジスタなんですね。MOSトランジスタというのは典型的な電界効果トランジスタですから、私は趣味の延長で、MOSトランジスタに取り組んだきらいもあるんです。

——アハハハ、それはますます評判悪くなりますね。

大野　評判は悪いです。会社がプレーナ技術に対抗するために一丸となっているときに、大野は個人的な趣味で研究している。公私混同も甚だしいというわけで、私は相当顰蹙（ひんしゅく）を買いました。

――でも、そればかりじゃなかったんでしょう。

大野　もちろんです。ちょっと専門的な話になるんですけれども、実はメサトランジスタの劣化対策をしているときに、一つの発見をしたんですよ。完成したメサトランジスタをテストするときに摂氏一〇〇度以上に加熱しながら長時間電流を流すんですね。高温動作試験とか、信頼性試験とかいうんですが、そうしますと、あるロットから非常に沢山の不良品が出た。

――メサ型の不良品解析で。

大野　そうです。女子工員さんのちょっとしたミスで酸化膜が取れていなかったんですね。それで一度に大量に不良品が出ちゃったんですね。それで不良品を精密に検査してみると、除去されていない酸化膜の下に反転層ができていることがわかった。

――反転層というのは一言で言うと、どういう現象なんですか？

大野　たとえば、P型シリコンに酸化膜の上から電圧をかけると、酸化膜の下のシリコンがN型に変わって反転する、つまり基板のP型とは反対のN型層ができる。

――電圧をかけたときだけ。

大野　そうです。電圧をかけなければP型のままなんですが、電圧をかけると酸化膜と結晶が接する界面にN型層ができるのです。この反転層を通じて電流が短絡してしまうから、トラ

ンジスタとしては動作不良になったんですね。

大野 ええ。私は大学時代に磁性材料の研究をしていたんですが、その分野では材料を磁場の中に置いて冷却すると、磁力特性が改善されるという磁場冷却効果があったんです。半導体の場合は磁界ではなくて電界ですから、電界をかけながら加熱すると何かが起きるんだろうと閃きまして、そうした仮説に基づいて実験してみると、やっぱり結晶の表面近くに反転層ができた。それも電圧のかけ方や加熱の仕方によって、反転層がいろいろと変化した。これを私は勝手に、加電冷却効果と名づけて学会で発表したわけです。

――電流を流しながら熱したとおっしゃいましたが、熱と関係があるんですか？

――なるほど。

大野 今度は同じ試みをプレーナトランジスタでやってみた。プレーナトランジスタの酸化膜を介して電界をかけてやったら、トランジスタの特性が変わったんです。これを昭和三七年の電気学会東京支部大会で、「シリコンPN接合における加電冷却効果」として発表しました。

――なるほど。

大野 酸化膜の下にできる反転層をうまく利用したら、MOSの電界効果トランジスタができるんじゃないか、ということでつくったのが私の最初の試作だったんですが、これは日本で最初のMOSトランジスタになりました。

――簡単につくれたんですか？

大野 電界効果トランジスタの構造は、きわめて単純なんですが、当時それをつくるには大変な

制御技術が必要だったんです。微妙な拡散をきちんと制御できる技術が必要だったのですが、残念ながら私どもにはしっかりした技術がまだなかった。

——どうなさったのですか？

大野　そのうちに気がついたのが、プレーナトランジスタを流用することでした。P型のシリコン基板に酸化膜がついていますね。この上に金属膜を蒸着させて電極にして、そこに電圧をかけますと、酸化膜の下にN型の非常に薄い反転層ができたんですね。その反転層を使うと、実に見事な電界効果トランジスタができた。これが私の試作したMOSトランジスタでした。今度は同じプロセスを使って、意図的にMOSトランジスタをつくったのです。

MOS研究者が〝時の人〟に

簡単に解説すると、こうである。

次ページの図31はプレーナトランジスタの断面である。中巻で詳述したように、プレーナトランジスタは全面が酸化膜で覆われている。その特徴を利用して、図のようにP型層（ベース）の上の酸化膜に金属膜を蒸着させてゲート電極にした。両脇のN型層、つまり中央のエミッターと右端のコレクターをそれぞれソースとドレインとして使った。こうしてゲート電極にプラス電位をかける。つまり電極Bにプラスをつなぎ電極Dにマイナスをつなぐと、CA間は電気が通るようになる。二つのN型層を隔てるP型層（ベース）の表層部が、N型層に反転して電気を通すようになるのである。

図31　プレーナトランジスタを流用した大野MOS

これが大野さんの試みたMOSFETの実験であった。

大野さんはこの試作実験の結果を、昭和三八年の電気通信学会で「MOS型トランジスタの試作とその特性」として発表した。自らは画期的な業績だと信じていたが、研究はほとんどだれの関心も引かなかった。しかし、専門紙の『日刊工業新聞』が彼の研究を取り上げた。記事は、アメリカの専門雑誌に英訳され転載された。それを読んだRCAの研究者たちは、大野さんの研究に深い関心を寄せた。

大野さんの上司であった伴野正美工場長が、RCAを訪れたのはちょうどそんな時期であった。

大野　これを昭和三八年四月の電気通信学会全国大会で、「MOS型トランジスタの試作とその特性」ということで発表したんですが、MOSに関する日本で初めての論文でした。

――それは完全にMOSトランジスタですか。

大野　ええ。実は私、この発表は本当は世界で初めてじゃないかと思っていたんですが、私の一年ほど前にRCAからも発表されていましたし、基本特許はベル研のほうから相当前に出ていました。

――それで学会で発表して、いかがでありましたか。

大野　そのときには、残念ながら反響はあまりなかったんです。ほとんど大した質問もありませんでした。「本当に使えるのか」といった懐疑的な質問が、二、三あった程度でね。

――社内では？

大野　もう、さんざん。「MOSなんか君、そんなもの駄目だよ」という意見が圧倒的でした。

――それでなくても、評判が悪いから。

大野　そう。もうお亡くなりになりました当時の伴野工場長も、この方は非常に優れた技術的感覚をもった方でしたけれども、この方も「MOSはちょっとね」という感じでしたね。「大野君は勝手なことばかり言うけれども、冷静に言って、MOSなんかやっぱり駄目だろう」というような印象を強くもっておられたんですね。

――孤立無援。

大野　そう、味方なし。ところが、二、三日後に新聞社が取材に来て私の研究が新聞に載りまして、それが英訳されてアメリカとかヨーロッパにも伝わっていたんですね。そんなとき、確か昭和四〇年の秋頃でしたが、伴野工場長がRCAに出張されまして、あちらの事業部長から「あなたの会社でも、MOSでずいぶん成果を上げているじゃないですか」と言われて飛び上がった。

――神様からの御託宣ですね。

大野　そう。当時のRCAはまだ、飛ぶ鳥を落とす勢いといいますか、エレクトロニクスの世界でリーダーでしたから、RCAの一言は神のお告げでした。伴野工場長は、びっくり仰天。帰国されるや「大野、おまえすぐにアメリカに飛んで、MOSの開発状況を調べて来い」

ですよ。昭和四〇年の一一月でした。

急遽アメリカに出張を命じられた大野さんは、界面学会に出席した。それは、シリコン結晶と酸化膜の接合面を研究する人たちの専門家会議であった。学会出席の後、当時たった一社だけMOS・ICを手がけていたビクター・コンプトメーター社を訪問。生産の様子を視察させてもらい、MOSFETをICに集積するうえで起きてくるさまざまな問題を聞いた。このチャンスをうまく利用してMOS・ICを生産に乗せたいと考えたのである。三週間の出張を終えて帰国すると、羽田に迎えの人が待っていた。

大野　それがなんと、あろうことかMOSの最大の反対者だった私の上司の課長さんでした。課長自ら羽田まで来てくれまして、私を出迎えてくれたんです。

――風向きが変わった？

大野　そう。車に乗るなり「大野君、大変なことになったぞ。今度わが社でもMOSを本格的にやることになったぞ」。

――〝変わり者〟が一転して、時の人ですね。

大野　変わり者でちっとも会社の方針に従わないし、勝手なことばかりやるということで、私に対する人事査定は非常に悪かったみたいですね。

――月給が下がったんですか。

大野　他の人と比較なんかしなかったからわからないですけど、あとから聞いたところによると大分低かったみたいですね。それだけなら我慢すればいいだけのことなんですが、総務部長さんから「君はせっかくここへ入ったけれども、君には向いていないようだ。わしは君

がそんなに悪い男ではないと思うけれども、君がここにいたんでは先々心配だから、わしが知っている小さな研究所に転職したほうがいいかもしれんな」と言われたり、もうさんざん。

――日立以外に？

大野 日立以外。それも私がMOSをやっているとき。私がいちばんいい仕事をやっている最中ですね。そんなことを言われたんです。会議で問題になったんでしょうね。

――あいつは札つきだと。

大野 そう。札つき。

――それが一転してMOSの先覚者。

大野 RCAの御託宣で、スカッと世の中変わっちゃった。途端に「大野だ、MOSだ、MOSだ、大野だ」ということになった。

――大野MOS、MOS大野ですか。

大野 MOSというのはね、私はミノル・オオノ・セミコンダクターだと勝手に言っていたんですよ。

――本当は？

大野 本当はメタル・オキサイド・セミコンダクター。

――アハハハハ、変人変じて一夜にして救世主ですか。

大野 総務部長も「大野君って変わり者だけど、やっぱり先を見ていろんなことをやる男だったんだねえ」ということで私を認めてくださって、その後は「君が好きなようにやればいい

んだよ」とおっしゃってくださいましてね、それで今日の私があるわけです。

——人生、もとがとれましたか？

大野　とれ過ぎるくらいとれたんじゃないですか。

——RCAのおかげですか？

大野　いや、RCAというよりはシャープさんですね。あそこがMOS・ICを電卓に使いたいという意向を、日立のほうに持ってこられて、伴野さんが「大野がいるんだからMOSでいこうか」ということになったんだと、私は思っているんですけどね。だからシャープさんの見識、特に佐々木正さんの先を見る目が、大変すばらしかったと思うんですね。

——シャープの電卓で、人生最大の日の目を見たみたいなものですね。

大野　電卓戦争のお相伴にあずかって、私の道が開けたということになりますね。

■TI社と日本通産省との紛争の影

こうして、シャープの強い要請によって、日立製作所の武蔵工場ではMOS・ICを製造することになった。研究所のなかでは「役にも立たない研究にうつつをぬかす異端児」だった大野稔さんが、MOSの権威として量産過程でも重きをなしたのは言うまでもない。

同質性を重んじる日本の企業では、異端児を排除しがちである。しかし日立における大野さんの例は、企業にとって異端児の存在がいかに大切なことかを示唆してはいないだろうか。大野さんという異端児がいなかったら、日立はMOS・ICの時代に乗り遅れたかもしれない。異端児を抱えこむこ

とのできない企業は、時代が激変したときに方向転換ができず、全員玉砕の憂き目にあうに違いない。アメリカの研究者にとって最大の動機は、「他がやらないから、自分がやる」ことである。企業もまた同じように「他社がやっていないから、わが社がやる」というのが、開発の動機である場合が多い。しかし日本の場合は、「他がやるから、自分もやる」という追随型である。儲かると予測できる事柄には殺到するが、先行き不透明な対象には消極的である。異端を嫌う同質性が、この傾向に拍車をかける。世界が激しく変わる現代では、多くの異端児が生き生きと暮らせる社会こそ最も強いのではないだろうか。

さて、シャープは、日立製作所と日本電気に電卓用のMOS・ICを発注し、それを搭載した電卓を発売した。それが「CS16A」であった。テンキーによる一二桁の加減乗除。部品点数一〇〇〇点。昭和三九年に発売された一号電卓「CS10A・コンペット」の部品点数が一万五〇〇〇点であったから、わずか三年で一五分の一に激減したことになる。同じように、容積で三分の一。重量で六分の一(四キログラム)。消費電力で九分の一。価格で半分以下(二三万円)。何よりも驚異的だったのは、材料原価がCS10Aでは一二万五〇〇〇円だったのが七万五〇〇〇円に半減し、人件費が一桁少なくなったことである。

第3章の冒頭で電卓戦争を通じて達成された技術革新による成果を数枚の図表にしてお見せしたが、もう一度「部品点数のグラフ」(一〇一ページ)を見てほしい。昭和四二年から四四年にかけて折れ線グラフが、断崖絶壁のように急落している。これはIC化による成果であり、とりわけMOS・ICの採用によるところが非常に大きかったのである。

シャープは、この電卓をアメリカに輸出しようとした。これに対してTIは猛烈な反撃を開始した。

電卓ＣＳ16A（シャープ製）の生産工場

一九六七年（昭和四二年）のことである。

先に詳しく紹介した通り、ＴＩはアメリカのなかでも早くから電卓の開発を進めていた。一九六七年（昭和四二年）と言えば、ジェリー・メリマンがハンディー型の試作に成功し、ハガティー社長から、続いてポケット型の電卓を開発するように言われた年である。それが実って、ＴＩ社がポケット電卓を発売するのは一九七一年（昭和四六年）のことであるが、ＴＩ社はシャープの輸入電卓に対して激しく抗議した。ＣＳ16ＡがＩＣを使っている以上、それはジャック・キルビーの発明したＩＣ特許に抵触するというのである。ＴＩ社は「特許権の侵害で税関の差し押さえ措置と、場合によっては裁判に訴える」と宣言した。

この強硬な対抗処置の裏には、ＴＩと日本通産省との間で繰り広げられた三年に及ぶ紛争が影を落としていた。ジャック・キルビーが一九五八年（昭和三三年）にＩＣを発明し、翌一九五

九年に特許を取得したが、ＴＩ社はこのＩＣを日本でも生産したいと通産省に申請した。一九六四年（昭和三九年）のことである。出資比率は一〇〇パーセントの会社を日本に設立しＩＣ工場を建設したいと認可を求めたが、通産省は返事を延ばし続けた。

当時の通産省電子工業課長・戸谷深造氏はすでに故人になっておられるが、昭和五三年に『毎日新聞』に連載された記事「トランジスター二五年」では、次のように証言なさっている。「進出を認めたら日本のＩＣ産業はひとたまりもない。日本のＩＣが育つまで時間稼ぎをする必要があった。だから返事を引き延ばすしかなかった」というのである。

一九六六年（昭和四一年）の夏になって、ようやく通産省は、三つの条件を遵守するなら建設を認める旨、回答した。①日米の出資比率五〇／五〇パーセントであること。②生産の総量は常に日本の総生産ＩＣの一〇パーセント以内であること。③キルビー特許の実施権を開放すること。この三つが建設認可の条件であったが、ＴＩ社はこれを拒否。ＴＩ社と通産省の交渉は、頓挫したままになっていた。こうした対立の渦中に、シャープのＩＣ電卓が巻き込まれたのである。

結局通産省は、一〇〇パーセント出資の工場建設を三年後に認可することに方針を転換し、ＴＩ社は一九六八年（昭和四三年）に日本上陸を勝ち取った。翌月には日本テキサス・インスツルメンツ社を設立し、同時に鳩ヶ谷工場に着工。その年の一一月にはバイポーラＩＣとＭＯＳ・ＩＣの量産を開始した。現在日本に四つの大工場が稼働している。やがてこの工場で生産された電卓用のＩＣが、後述するように、市場を席巻することになる。

■ MOS・LSIの致命的弱点

CS16Aの生産で、シャープは顕著な成果を手にできた。MOS・ICを採用することで、電卓の部品点数は一挙に一五分の一に激減し価格は半減した。MOSFETの特徴が、いかんなく発揮された結果であった。もしICの集積度を上げれば、MOSの利点を莫大な利潤に結びつけることができるに違いない。そこで佐々木正さんが率いるシャープは、MOS・ICを大規模集積回路のMOS・LSIに転換していこうと考えたのである。佐々木さんは間髪を入れず、MOS・LSIの製造を各メーカーに要請した。

佐々木　IC化しましたら、量産効果で値段が下がりまして売れたんですが、まだ大きさが卓上電卓の大きさなんですね。今度これを体につけるくらいの大きさにするには、部品二〇〇個でも多すぎる。もっと集積度を上げたいということだったんですが、バイポーラの技術では限界があって、どこかで行き詰まるという感じがしましてね、それでMOSを利用しようと思いついたんです。ところが、MOSについては当時の学会でも批判的でしてね、MOSを使おうとする、私は孤軍奮闘で情けなかったですよ。

――学者の皆さんが、反対だったんですか?

佐々木　そうですよ、まったくけしからんのですよ、学者なんて人たちは。

――何が?

佐々木　私に言わせればね。学者が一方的に、あれは不安定だと断定してしまうなんて、技術の冒瀆やと思うんですね。どんどん勉強して成長している子供にね、お前は勉強しても駄目

だと決めつけるのと一緒ですよ。わからんから、現場が一生懸命に取り組んでるんでしょう。それを、やるのが無駄だと外野で言うのは、学者としてはおかしいんじゃないですか。日本では学者というのは、偉いということになっているかね。

——はい。

佐々木　もっとも、学者のことを聞いてやると、会社が潰れることがよくありますがねえ、えへへへ。でも一応は偉いことになっているから、事情のわからない人は学者の言うことをよく聞くんですわ。だから学者がMOSは危ないと言えば、産業界は一斉にやらない。

——それを佐々木さんが説得して歩いた？

佐々木　私一人がMOSをやろうというんですから苦労した。孤軍奮闘ですよ。日立に行っても、日電に行っても、三菱に行っても、どこも引き受けてくれない。

——どこの会社も尻込みして？

佐々木　電卓は輸出の花形商品だからもっと小型化を促進するべきだ。その手段として、MOS・LSIを開発する企業には通産省が補助金をだした。半導体メーカーはこの補助金をもらってやっているのに、MOSのLSIができないんですね。

——なるほど、それは情けない。

佐々木　かといって、私がICを外国メーカーに発注しようとすると、半導体は国産を使えと通産省がうるさい。本当に困りまして、結局三菱電機に電卓用のMOS・LSIを開発してもらうことになりまして、通産省の補助金をもらってやりはじめたんですわ。三菱の小原さんが引き受けてくれましてね。電卓用のMOS・LSIを開発することになったんです。

ところが、ここでまた、どこかの偉大な学者が三菱電機のトップに入れ知恵したんですね。MOSなんかに手を出したらとんでもないことになりますよってね。担当の小原さんが窮地に立ちましてね、「通産省の補助金をもらっているから研究だけは続けるが、生産ラインに乗せるのは勘弁してほしい」「わかりました。やむをえません」というわけで外国の企業を捜すことにしたのです。

——ほう。

佐々木　三菱さんがいちばん熱心に聞いてくれて、いよいよ引き受けてくれそうな気配だったんですが、三菱のトップに入れ知恵した学者がいた。それで話はパー。

——それはまたどなたで？

佐々木　偉いと言われている学者ですがね。名前は言えません。

MOSFETは、従来型のバイポーラ・トランジスタに比べて構造が単純で、形が格段に小さくできた。そのうえ回路も単純化でき、使用するトランジスタを劇的に減らすことができた。構造が簡単であることは、それだけ製造工程が少なくて済んだ。しかも低電流低電圧で動き、そのうえディジタル回路に使う場合、使用数を激減させることができた。したがってMOS・LSIは、電卓を小型省電力化するにはぴったりのデバイスであった。ICやLSIに集積する場合、MOSFETのほうが、プレーナトランジスタを集積するよりはるかに集積度を上げることが可能であったからである。

ところが、MOSには致命的な弱点があった。動作が非常に不安定で、しばしば激しく劣化した。さまざまな汚染に弱く、製造歩留まりが上がらず、しかも出荷後にも劣化するという扱いにくいデバイスであった。したがってMOS・LSIは、生産には向いていないのではないかとさえ思われたこ

とすらあった。こうしたMOSの不安定性を強く警告したのが、当時東北大学教授の西澤潤一博士であった。

西澤　その頃、ある雑誌からMOSに関して書いてくれと言われましたんで、「MOSはローレライの魔女だ」と書いたんです。皆が、安くできるというわけで群がり寄ってくるんだけれど、結局ナトリウムにやられて難破するから、と。死屍累々であると。だけどやっぱり「われわれはそれを克服して魔女の心を捉えようではないか」とね。だれがその魔女の心を真っ先に捉えるかというようなことを書いたんですよ。ところが、その雑誌の編集長は、後段の論旨を読んでくれなかったらしくて、「西澤はMOSは駄目だと言った」とあちこちに言って歩いた。

西澤潤一氏

――それ有名な話ですね。

西澤　ところが私の本旨は、本当はそうじゃないですよね。魔女の心を捉えなければいけないと、そのために何らかの手段を編み出すようにわれわれは努力すべきだということをちゃんと書いてありますから。あとでその編集長、私に謝りましたけど。それが後々まで消えなくて、『毎日新聞』か何かの連載には、前半だけ載っちゃったんです。

――『毎日新聞』連載の「トランジスター二五年」に。

西澤　そうです。あれは、記者が前半の半分しか読んでいないということです。

MOSの不安定性は、多くがアルカリイオンの仕業であった。この原因をつきとめ対策を確立した

のは、フェアチャイルド社の技術者たちであった。その過程についてはすぐ後に述べるが、まだこの当時は原因も対策も不明であった。原因もわからず対策も立てられないまま工業化に踏み切ると大きな損失を招くことになる、と西澤教授は警告したのである。

西澤　最初はMOSがなぜ不安定なのか、原因が究明されていなかったんです。やがてナトリウムだということが、次第にわかってきた。

――ナトリウムだったんですか、犯人は？

西澤　そう。ナトリウムというのは、非常によく動くんですよ。たとえばガラスでも、ナトリウムガラスというのはよく使われるんですけどね、電圧かけますと、中のナトリウムが動きはじめるんですね。非常に動きやすいんです。特に石英の中ではよく動くんですよ。

――石英。

西澤　ええ、ナトリウムの原子半径は大きいのに、どうして活発に動くのかという大変おもしろい話もあるんですけど、人間の体でもナトリウムはよく動くんですね。カリウムは出ないんですよ。血管の中へ出入りが自由にできるというような、非常に変わった性質があるんですね。まだ何でだかよくわかっていないんじゃないかと思うんですけど、非常におもしろい性質がありましてね。だもんだから、人間なんて食塩をしょっちゅう飲んでますから、ナトリウムの塊みたいなもんでして、汗、尿、ふけ、垢、血液、体液、唾液、涙、ぜーんぶナトリウム。

――はい。

西澤　ですから、ナトリウムが、体からしょっちゅう噴出しているわけですね。それがウエハー

にくっつきますとね、半導体というのは、結晶表面に酸化膜をつけて表面防衛しているんですけど、その酸化膜も、自由自在に出たり入ったりしちゃうんですね。

——あ、酸化膜が絶縁にならない。

西澤　ならないんです。しかもナトリウムは、それ自体電気を運びますから、大変やっかいな存在なんですね。

——どこでも出入り自由な、電導因子みたいなものですね。

西澤　そんなもんだから、どっちかに偏ってじっとしてくれればいいんですが、電圧かけるたびに、出てきたり入ったりするもんだから、電圧のかけ方次第で、半導体の特性がガラガラと変わってしまう。それで電圧を切ると、またガラガラと変わっちゃうんですよ。半導体デバイスなんてものは、本来電圧をかけたり切ったりして使うものですから、そのたびに特性がガラガラ変わって、安定動作してくれないんでは、使いものにならない。

——それじゃあ、使えないですね。

西澤　使えませんね。

ナトリウム・パニックで企業倒産

ナトリウム・パニックという言葉がある。MOS型製品を製造している工場が、ある日突然不良品しかできなくなってしまう異常事態をいうのだそうである。ICが発明され、人々がその有用さに気づくと、集積度競争が始まり、集積度を上げる方法として日米の企業ともMOS型製品の製造に着手

するようになる。
しかし、その初期は原因不明の歩留まり急落でほとんどの工場が人には言えないパニックを体験しているのである。死屍累々というのは不良品しかできない状態、製造歩留まりゼロのことを指すのだが、製品が死屍累々だったばかりでなく、それに関わった多くの技術責任者が更迭されて死屍累々だったというのである。

西澤　ナトリウムについてはアメリカでも、一時は、それこそ半導体企業がずいぶん潰れましたしね。日本なんかでも重役の首が大分飛んだんじゃないですかね。

――あ、そうですか。

西澤　たとえば、いちばんひどかったのはフェアチャイルドでしたかね。サンプルができたというので、それを使って電子計算機をつくろうという会社があった。サンプルの特性は良かったものですから、やろうってわけ。ビクター・コンプトメーターという会社が小型の電子計算機の工場をつくった。もちろん製品の設計は終わって、半導体が届くのを待っていた。ところが、いつまで待ってもデバイスが入荷してこなかった。

――そりゃ大変だ。何が原因だったのですか？

西澤　ナトリウムですよ。研究室でつくっているうちは、厳重な管理下に置かれて注意してつくるからシリコンにナトリウムはあまりつかない。ところが工場に入りますとね、従業員が注意しないものだから、指で頭を掻いたりしながらやるわけですよ。その指でシリコンウエハーをいじるものだから、みんなナトリウムがくっついちゃうわけ。

――手から？

西澤　ええ、だもんだから、研究室ではできても工場で生産を始めるとまともなものが一つもできないわけですね。それで、そのビクター・コンプトメーターという会社も倒産したんじゃなかったかなあ。

――あ、倒産ですか。

西澤　ええ、そういうことがいくらでもあるんですね。

――そんなにあるんですか。

西澤　ですから、あの頃潰れた半導体の会社というのは、ほとんどナトリウムにやられているんですよ。

――へー。それは何年くらいの話ですか。

西澤　ちょうど昭和四〇年くらいじゃないですかね。

――ナトリウム・パニックですか。

西澤　それが原因で会社が潰れたという話は日本では聞きませんが、首ちょん切られた重役さんは、いっぱいいるんじゃないですかね。

――死屍累々だという話を聞きますね。

西澤　その通りです。首切られて、健康を害して結局亡くなった方もいらっしゃるし、それから今なお脳溢血で、半身不随なんていう方いらっしゃいますけどね。

――ナトリウムという、姿なきインベーダーの責任取らされて。

西澤　そういうことですね。

ナトリウム・パニックについては、どこの企業も詳細はあまり語りたがらない。けっして自慢できる

話ではないのと、本当に苦労をした人たちが第一線を退いて久しいこともあろう。そういう意味ではMOS製品の不安定性は、現在の半導体産業では昔話の部類に入ってしまっているのである。すでに何度も登場いただいている佐藤興吾さんは、そうしたナトリウム・パニックを語ることのできる数少ない先覚者である。当時、日立製作所武蔵工場のIC部長であった。現在は、秋田県工業振興協議会の会長である。

――死屍累々というのはね、トランジスタの歩留まりが死屍累々というだけじゃなくって、責任者が死屍累々というのだそうですね。

佐藤　まあ日立はそこまでいかなかったですけどね、失敗した方でも偉くなった方いっぱいおりましたけど。もう疲れちゃって選手交代というのはありました。もう胃が痛くなるという表現はあてはまらないですね。もう胃に穴が開いちゃうような感じ。そういうのも何回もございましたね。

――因果な商売なんですね。

佐藤　だから、そんなの長くやっていると、身がもたないという話はよくありましたね。選手交代です。大きなプロジェクトをやるときには、何回も選手交代しました。伴野正美さんなんか一〇回もやっていますよ。息がつまっては選手交代とね。わたしは伴野さんほど代わっていないと思ったんですが、たとえばNTTの電子交換機計画のIC開発では、着手してから完成するまで七年間かかっているんです。七年間に責任者が何人も交代していますから、そういう意味では、死屍累々という言葉があてはまるかもしれませんね。ある日、本当に歩留まりゼロになるわけです。

――文字通り？　バタッと？

佐藤　文字通りゼロ、何にもできなくなっちゃう。全部不良になってしまうことがあるわけです。ナトリウムがどっかの工程からまぎれ込んだとか、たとえばですね、そういうことがあると全滅しちゃうわけです。

――ある日突然バタッとできなくなりますね。どうなさるんですか。

佐藤　私は何回もやっているんですけどね、臨時職制プロジェクトというのをつくりまして、技術屋の超職制で全工場から人を集めまして、緊急プロジェクトを組織しました。ＬＴＰの専門家の徳山さん、ＭＯＳの大家の大野さんなど常連でしたがね。それで現場からあらゆるデータを採取して、ここだという所を見つけるわけですね。

――それは全数チェックみたいな……。

佐藤　そう、全数。全工程を点検する。問題がどこにあったのか。全部で何十工程ってありますから、それは大変なことになるんですが、それしか手がありませんでした。

――そんなたどれるもんですかね。

佐藤　それはやはりいろんな道具を使って、頭を使ってやるんです。ウエハー工程というのは何十工程もあって、水も使う、薬品も使う、ガスも使う、原因となる要素が何十とあるわけでしょ。それらの材料自体がおかしいこともあれば、それらを取り扱う作業者のミスがあるかもしれない。考えられるすべてのケースを点検していくのです。それは死にものぐるいでした。

――本当にパニックだったんですね。

佐藤　これはちょっと恥ずかしい話なんですが、日立はご承知のように総合電機メーカーですね。たとえば発電機をやっておられる方、大きな機関車を設計された方、これは設計を図面通りにつくるんですね。そしてつくりはじめたら、百発百中できる。ところが私たちが電卓の仕事を受けてからは、そのようなセクションの方々から大変馬鹿にされましてね。大の日立が玩具に手を出すのかとね。

――機関車とか発電機に比べれば、電卓は玩具でしょうね。

佐藤　しかし、その電卓こそが日本のLSIの牽引車だったんですね。アメリカはNASAと国防総省。日本は電卓が突破口になって、LSIが発展していったわけですが、社内ではなかなか認めていただけなかった。そんな玩具やっているから、おまえたちは駄目なんだとね。会議の席で何回も言われたもんです。

■違約金を払いながらの生産続行

もう一度西澤潤一さんに登場していただこう。次のエピソードもまたナトリウム・パニックの様子をなまなましく伝えていて興味深い。ある日突然原因不明の歩留まり急落に襲われた会社の責任者が、青くなって西澤博士を訪ねてきたのである。

西澤　あるとき、東京で会議がありまして、終わって入口に出てみたら某社の社長さんが来ておられて、われわれの大先輩ですけど、ちょっとこれからうちの会社に来てくれんかと。工場は大阪ですよ。どうしたんですかと聞いたら、「急に歩留まりが下がっちゃって、約束の

納品ができない。しようがないから生産量を上げて、投げ込みを二倍にして、何とか使えるものを拾って納入したけど、もうそれでも追いつかなくなっちゃって、一日数千万円の罰金取られてる」というわけですよ。しかし私は公務員ですから、そう簡単には引き受けられない。いったん仙台に帰って、許可をとってから行きますからということになった。

――駆けつけてみると？

西澤　驚いたことには、女子工員さんがピンセットでウエハーを挟みましょう、そのピンセットで頭をゴシゴシ……。

――ああ、頭を掻いている。

西澤　ええ。これは大変ですよ。そりゃあナトリウムの塊がくっついているピンセットで、ウエハーをいじりますから、製品ができるわけがない。続いて研究室とか工場に行ってみますとね、空調の吹き出し口から綿ゴミが下がっている。その下でウエハーを大事そうにいじっているんですが、綿ゴミがポンと切れて下に落っこちたら、一遍で駄目になっちゃうんですね。そんなことにも無頓着でやっていた。

――下手すると、工場全滅ですね。

西澤　ええ。慣れちゃうんですね。きっと初めのうちはきれいにしていたんでしょうがね。ですからうまくいっていたんでしょうけど、しばらくすると慣れてきていい加減になる。そしてナトリウムがだんだん蓄積してきて、ある日突然パニックに襲われる。ですから、きちっとクリーン管理しているところと、そうでないところとでは歴然とした歩留まりの差になって現れるんですね。

——それで、救援を求められた会社はどうなりました？

西澤　うちから人を派遣しましてね。非常に威勢のいい男で、彼が全部ナトリウム退治をしたんですがね。そんなわけで、その社長さんに大変感謝された覚えがあるんです。当時、その工場では納品ができなくて罰金を払っていたんですが、その額が一日数千万円だったんじゃないですかね。

——一日の違約金が？

西澤　はい。

——数千万。

西澤　納品ができないわけです。

——納品してくれないと、相手も工場がストップするから。

西澤　アメリカのビクター社は、それでやられたんですからね。

西澤潤一さんの話は、MOSの不安定性が、ナトリウムだと判明してから以後の体験である。しかし生産工場が最も苦しんだのは、MOSの不安定原因がまだ確定していない時代である。あらゆる情報を集め、仮説を立て、工程を改善した。が、フェアチャイルド社の成果が発表されるまでは、MOS製品の不安定性が根本的に解決されることはなかったのである。

佐藤　長い間、本当の原因がわかりませんでした。いろんな説が出ましてね。結晶の表面をきれいにすればいいとか。製造工程で使う水素を使わないほうがいいとか。途中の工程でちょっとでもナトリウムが入ると全滅するとか。昭和三九年から四〇年の頃のことでしたが、世界中が原因と対策を模索していました。ウエスタン・エレクトリック（WE）社もベル研

究所もＩＢＭもフェアチャイルド社も、それぞれが勝手な原因を挙げていました。

――なるほど。

佐藤　ここにあるノートは当時ＷＥ社の技術者の人たちと議論したときのメモですが、本当に熱い議論って、このことでしたね。口角泡を飛ばして、やっていました。表面の安定性に何が影響しているのかをね。

――何が犯人だと言われていたんですか？

佐藤　結局ナトリウムイオンが犯人だったんですが、イオンが悪いとすればイオンは他にも沢山ある。鉄もニッケルもみんな悪いのかとかね。あるいは水素が悪いと言った人も非常に多かった。とにかく、結晶表面の安定性については世界中の人たちが取り組んでいたのです。

神様のご機嫌をとり結ぶ

一九六〇年代、世界の半導体技術をリードしたのは、フェアチャイルド社であった。シリコンのメサトランジスタを、他に先駆けて生産したのもフェアチャイルド社なら、汚染に根本的に強いプレーナトランジスタを開発し、そのプロセスをベースに集積回路の実用化に成功したのも彼らであった。八〇年代になって経営不振で石油探査会社に身売りするまで、次々と新しい技術を世に送り出したのである。

ＭＯＳ・ＩＣや続くＬＳＩにも早くから着手して量産に入っていたが、ときとして生産歩留まりが急落して、パニックに陥ることが少なくなかった。特にＭＯＳ・ＬＳＩの時代に入ると、原因不明の

トラブルが頻発した。
マレー・シーゲルさんは、ニューヨーク大学を卒業後、一九五七年にショックレー半導体研究所の募集に応じて西海岸にやってきた。ときに八人の若者たちは、経営者としてのショックレー博士に失望して新会社を設立しようとしていた。彼らに誘われてフェアチャイルド社の設立に参加したマレー・シーゲルさんは、仲間たちから「九人目のフェアチャイルド・マン」と呼ばれた。フェアチャイルド社では製品応用部門を担当し、生産現場のことには精通していた。現在五八歳、サーラス・ロジック社の国際販売部長である。MOSの不安定性がナトリウムに起因すると判明する前、原因が不明だった時代の様子を次のように回想している。

シーゲル　MOSのICやLSIが生産されるようすなると、しばしば突然に歩留まりが急落するといった事態が頻発するようになりました。真相がわからぬままに、人々は藁にもすがる思いで、さまざまな原因を推定しました。それはまるで科学というよりは、迷信を信ずるに近いものでした。

——おまじないとか魔力とかが、関係しているとでも?

シーゲル　そう。何か人間の力ではどうすることもできない魔力のようなものが影響しているのではないかとか。歩留まりが急落してくると私たちよく冗談で言ったものです。「生贄(いけにえ)の鶏を門に吊るすのを忘れなかったろうな」ってね。つまり神様のご機嫌をとり結んで良好な歩留まりを得るには、生贄をお供えしなければいけないと、半分本気の冗談を言いあったのです。

——なるほど。

マレー・シーゲル氏

シーゲル　まあ、それは極端な例にしても、突然歩留まりが落ちる事態に見舞われると、技術者たちは日常的な事柄に原因と結果の因果関係を求めようとしました。たとえば空気中の湿度が影響しているのではないかとか、あるいは当時は作業員のほとんどが女性でしたので、月経のサイクルに関係があるのではないかとか。結局はウエハー表面上の汚染物質によって引き起こされていることが判明し、それも人間自身が発生源だとわかるのですが、それまでには多くの人たちの地道な追求が必要でした。

農薬散布のシーズンに入ると、しばしば半導体工場の製品歩留まりは急落した。肥料や農薬に含まれる大量のナトリウムがイオンとなって空中を漂い工場内部に侵入し、ウエハーを襲ったのである。あるいは男性作業員がトイレで小用を足したあとのウエハーは、致命的な打撃を受けた。指についた尿が、ウエハーを駄目にしたのである。しかし、その原因がナトリウムだとわかるまでは対策の立てようがなく、製造歩留まりが上がるも下がるも神頼みであった。

当時MOS製品の不安定性を追求する研究に従事していたブルース・ディール博士も、次のようなエピソードを教えてくれた。

ディール　今となっては単なる笑い話に過ぎなくなりましたが、当時は笑い事では済まないパニックがありました。当時、フェアチャイルドのMOS部門では、さまざまなデバイスを生産していましたので、それぞれに用いる異なった種類のウエハーを管理するのは、非常に

やっかいな仕事でした。そこでマネージャーの一人が、ウエハーを色別に分けたらどうかと思いつきましてウエハーの裏側に塗料で印をつけたのです。

——それは識別に便利ですね。

ディール　ところが、やがて全製品の歩留まりがゼロに急落し、大パニックになったのです。

——それは?

ディール　塗料に含まれるナトリウムが原因でした。ほとんどの塗料に多量のナトリウムやその他のアルカリ性物質を含んでいましたから、点ほどの小さな印をウエハーに塗っただけでも、それが高熱炉の中で一二〇〇度にも熱せられると、ナトリウムイオンがシリコン結晶中に高濃度で拡散浸透していったのです。もちろん、すべての製品が全滅。これこそ正真正銘の、ナトリウム・パニックでした。

ブルース・ディール氏

シリコンのメサトランジスタに比べて、はるかに安定して動作し、圧倒的に劣化の少ないトランジスタがプレーナトランジスタであった。酸化膜で全面を覆われたプレーナトランジスタは、汚染物質には絶対の強みを発揮したのである。しかし、この汚染に強いはずのプレーナトランジスタの生産が時として激しい歩留まり急落に襲われた。原因は皮肉にも酸化膜にあった。アルカリイオンだけは、肝心の酸化膜の中を自由に動き回ることができた。ゲート電極に電圧をかけると、絶縁体であるべき酸化膜の中をナトリウムという金属イオンが自在に移動したのである。これでは肝心の酸化膜が絶縁体として働かなくなってしまう。これは、まぎれもなくＭＯＳの不

安定原因と同じであった。

そんなわけでフェアチャイルド社が他より先駆けて、酸化膜とシリコン結晶の境界面に注目し、結果としてMOSの不安定性を解決することに成功したのである。それはプレーナトランジスタにおけるさまざまな体験がものをいっていた。

「アルカリイオンを除け!」

シリコン結晶と酸化膜の間の界面についての研究を体系的に研究しようと主張したのは、現在インテル社の社長を務めるアンディー・グローブであった。当時のことを、現在インテル社会長のゴードン・ムーアさんが次のように回想する。なお、彼はロバート・ノイスとともにショックレーのもとを離脱して、フェアチャイルド社を設立するときの創設メンバー、八人衆の一人である。また後にロバート・ノイスがフェアチャイルド社を辞めてインテル社を設立するときは、ゴードン・ムーアもアンディー・グローブも、ノイスと行動を共にした。

ムーア　アンディーのチームは、シリコン結晶表面の研究をしていたのですが、MOS・LSI製品の研究もしていました。そして、そのときに安定したMOSをつくるということは、表面の状態に大きく依存しているということがわかったんです。

――なるほど。

ムーア　そんな研究をしている最中に、偶然でしたが安定したMOSトランジスタをつくることができたのです。特定の条件下では、安定して動くMOSトランジスタをつくる方法を発

見したのです。しかし、残念ながらその理論立てができず、私たちは対症療法の範囲を抜けることができませんでした。

――なるほど。

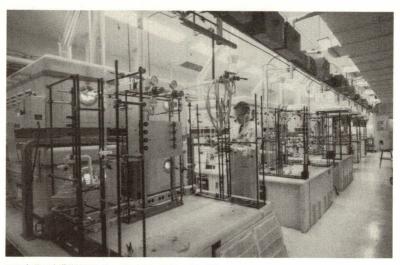
ムーア　そこでアンディーの役割は、その方法に潜む原理を引き出して理論化し、私たちが望む通りに表面を制御できる方法を見つけることでした。

――なるほど。

ムーア　それで、アンディーはシリコン酸化膜について化学的側面と物理的側面から研究するためにグループを組織し、自分がリーダーになりました。化学者であるブルース・ディール博士、ナトリウムイオンの権威エドワード・ショー博士などをスカウトしてプロジェクトチームをつくったのです。ショー博士は「シリコン酸化物におけるナトリウムイオンの挙動」という論文を書き上げましたけれども、これがシリコン酸化膜の中をナトリウムが移動し、温度によって大きく変化することを実証しました。こうした研究によって、ようやくシリコン酸化膜の物理化学的性質が解明され、私たちは電極にチタンのような特殊なメタルを使わなくても、安定したMOS・LSIをつくることができるようになったのです。

ゴードン・ムーア氏

アンディー・グローブが組織した研究グループのなかに、化学者のブルース・ディール博士がいた。彼はフェアチャイルド社に入社する前は、ワシントンのカイザー研究所でアルミニウムの酸化につ

1960年代の半導体技術をリードしたフェアチャイルド社

いての研究をしていた。その後博士の奥さんがカリフォルニアに住みたいと強く希望したため、ディール博士は西海岸に職を探した。最初はヒューレット・パッカード社とフェアチャイルド社に接触し、結局一九五九年、リーム社（フェアチャイルド社から最初にスピンアウトした会社）に就職。その後、ゴードン・ムーアの勧めでフェアチャイルド社に転職した。

ディール　私を雇ってくれましたのは、ゴードン・ムーア氏でした。当時グループでフェアチャイルド社では、MOSトランジスタのメカニズムを解明しようとしていました。私はそのグループに参加することになりました。MOSトランジスタは大変将来性があるとはいえ、非常に不安定なものでした。チーム員は現在インテル社の社長をおやりになっているアンディー・グローブ博士、現在レデ

イコン社にいらっしゃいます物理学者のエドワード・ショー博士、それに私の三人でした。MOSの不安定性の原因を解明し、解決策を見つけることが私たちに課せられた仕事でした。

ディール　そうです。アンディー・グローブ氏は理論家でして、私は化学者で、エド・ショー氏は物理学者という具合でした。

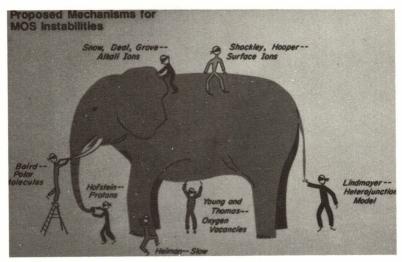
――当時の時代背景といいましょうか、MOSデバイスを追求した理由は何だったのでしょうか？

ディール　あの当時、アメリカの半導体産業界では、MOSデバイスについての競争は激烈をきわめていました。安定したMOSデバイスを目指して、六つから八つの研究所が取り組んでいました。MOSの不安定原因を解明できれば、他に先駆けてMOSの生産に入れ、MOS競争では有利な立場に立てると考えたからです。

――なるほど。

ディール　あるとき東海岸で開催された会議に出席したときのことですが、同じ問題に取り組んでいた友人のボブ・ドノバンが、私に一枚の絵を見せてくれました。それは目の不自由な人々が、大勢で象の体を触っている絵でした。この象がMOSで、目の不自由な人たちがわれわれ研究者だというのです。当時の状況を、見事に言い当てている絵でした。

――MOSの不安定原因が、いろいろに考えられていたんですね？

ディール　そうです。さまざまなアプローチで研究が行われており、したがって、さまざまな仮

友人がディール博士に示した絵「ＭＯＳの不安定メカニズムに関する諸説」

説が立てられていました。たとえばＩＢＭのヤングとトーマスの両氏は、「不安定原因は酸素の欠乏によるもの」と考えていましたし、ショックレー博士は結晶表面のイオンの挙動について調べていました。また東海岸のベル研究所その他の機関では、大西洋からの潮風が影響を及ぼすと主張していました。したがって、ＭＯＳ・ＬＳＩの工場は海岸から距離をおくことが必要だというのです。これはほんの一例ですが、多くの説が大気中に含まれる何らかの不純物が、不安定原因の一つだと見ていました。そんななかで、われわれのグループだけが、酸化膜のアルカリイオンが原因ではないかと考えていたのです。

ディール博士が見せてくれたパネルがあった。

写真がそれである。一頭の象を六人が各部分を触っている。タイトルには「MOSの不安定メカニズムに関する諸説」と書いてある。六人の人間には研究者の名前と彼の主張する仮説が書いている。たとえば、牙に触っているバードとポーラーは分子的な要因説を唱え、象の背中に乗っているウィリアム・ショックレーは結晶表面につくさまざまなイオンが原因だと考えていた。象の首にとりついているのがショー、ディール、ムーアの三人グループで、MOSの不安定性の原因はナトリウムなどアルカリイオンだと主張していた。結局、彼らの説が正解だったのである。

——ナトリウムに着目した動機は何だったのでしょうか？

ディール　それはエド・ショー氏のひらめきが発端でした。彼が大学院で研究したテーマのなかに「酸化物に対するナトリウムの影響」というのがありまして、彼はプロジェクトに参加した直後からMOSの不安定要因は酸化物に含まれるアルカリが問題なのではないかと考えていました。ですから私たちは、最初からナトリウムにターゲットを絞りました。ナトリウムがどこかから混入してはいないだろうかという観点から、プロセスの全工程について調べ始めたのです。

——なるほど、最初から狙いは図星だったわけですね。

ディール　そうです。調査の結果、最も怪しいと睨（にら）んだのがMOSトランジスタのゲート電極として蒸着させたアルミニウムでした。しかしアルミニウム自体には、問題がありませんでした。次に疑われたのが蒸着炉のフィラメントに使うタングステンでした。タングステンを精製する過程で、ナトリウムやカリウムが入ったのではないかと疑ったのです。タングステン・フィラメントを分析してみると、多くのナトリウムやカリウムが検出されました。

調べてみると、タングステン精製の過程でアルカリ物質を使っていることがわかりました。そこで、代わりのフィラメントにタンデリウムが使えないかと分析してみました。タンデリウムにはナトリウムの含有量が少なく実用上差し支えないと判断して、タングステンの代わりに使ってみたのです。これでつくったMOSトランジスタは、非常に安定した動作を示したのです。

——最初から蒸着炉のフィラメントを疑ったのですか?

ディール　いいえ。最初から蒸着炉のフィラメントを疑ったのではありません。最初は酸化炉の石英管、洗浄水、ガス、薬品など、シリコンに触れる一切の物質を調査しました。それ自体のナトリウム含有量の精密分析は当然ですが、それらがメーカーで生産される工程の調査まで行いました。そうした調査から、次第に酸化膜上に蒸着された金属に的が絞られ、タングステン・フィラメントにたどり着いたのです。

——なるほど。

ディール　そんな手順を踏んだ末に、明らかにナトリウムやカリウムなどのアルカリイオンに問題があることがわかりましたので、今度はシリコン酸化膜そのものにさまざまなアルカリイオンを添加してみました。ナトリウム、カリウム、リチウムなどで、意図的にシリコン酸化膜を汚染してみたのです。すると、推定通りMOSデバイスには相当量のドリフト現象が見られました。

——つまり、特性がどんどん変化することですね。

ディール　しかも肝心なことは、酸化物に加えるナトリウムの量が多いほどデバイスのドリフト

（動作が不安定になる現象）が多く、ナトリウム添加量が少ないほど、デバイスのドリフトが少なかったのです。これでMOSデバイスの不安定性は、ナトリウムによるものであることが立派に証明されたわけです。

――なぜアルカリイオンが移動すると、具合が悪いのですか？

ディール　石英やシリコン酸化物の中にアルカリイオンが入り込むと、アルカリイオンはプラスの電位を帯びていますから、デバイスに加えられる電圧でイオンが動きだし、デバイスの動作が安定しなくなるのです。

――なるほど。

ディール　またエド・ショー氏がその博士論文のなかで触れていますが、ナトリウムその他のアルカリイオンは、シリコン熱酸化物の中では非常に早く移動するということです。その速度は、イオンの大きさに反比例します。つまり最小のリチウムが最も速く移動し、ルビジウムやセシウムでは、イオンが非常に大きいため移動はほとんどしません。カリウムやナトリウムは、その中間といったところです。

――なるほど。

ディール　ここまで突き止めることができれば、あとは次々と新しいアイディアが生まれ、問題がおもしろいほど解決されていきました。たとえば私はフィラメントを発熱させてアルミニウムを蒸発させるよりも、電子ビームを使うほうがナトリウム汚染の少ない金属膜ができることに気づき、電子ビームによる蒸着法を開発しました。

――結局、着手から解決までの時間は、どれほどだったのでしょうか？

ディール　私がフェアチャイルドに入社しましたのが一九六三年初めでして、問題が完全に解決したのが一九六五年の初め頃でしたから、ちょうど二年かかったことになります。

■ 静電気・タバコの煙にも敏感

原因がわかれば、対策を立てることは困難なことではなかった。何よりも製造プロセスからナトリウムイオンを退治することが、大事な対策になった。酸化膜の中にリンを含ませておき、たとえナトリウムイオンが酸化膜に付着してもリンに引きつけられて動きがとれないようにする方法も、対症療法として考えられた。

ディール　対策の第一は、まず製造工程で可能な限りナトリウムなどのアルカリイオンを除去することです。次に、シリコン酸化膜にリンというゲッターを添加して、ナトリウムの動きを封じるのが一つの方法です。もう一つの方法が、シリコン酸化膜の厚さを非常に厚くしてやることです。シリコン亜硝酸塩の膜や、酸化アルミニウムの膜などを使用しますと、温度が五〇〇度から六〇〇度になっても、ナトリウムが膜を透過できませんので効果的でした。私たちはこの方法を生産工程に採用して、ずいぶん成果を挙げました。

——なるほど。

ディール　私たちの研究では、MOSデバイスは、アルカリイオンのみならず静電気に対しても敏感であることがわかりました。静電気の放電でMOSデバイスが簡単に損傷を受けてしまうことも突き止め、生産工程における静電気対策を実施しました。たとえば、ある種の

衣服についても肌着類も含めて着用を禁止し、ラインでは大変厳しい規制を敷きました。特にMOSデバイスのテストや組立ラインでは、多量の静電気を絶対に発生させないよう厳重な静電気管理を実施したのです。

――なるほど。

ディール　また喫煙についても厳しく規制しました。タバコの煙に含まれる微粒子は、喫煙後一時間経過しても、なお喫煙者の体や衣服から放出されます。休憩時間に外へ出てタバコを吸って一時間後に戻ってきて作業にかかった場合でも、ラインには微粒子が舞い落ちるわけですから。したがって作業者には厳しい喫煙規則を課しました。現在ではほとんどの研究所や工場では、作業員は禁煙することが原則になっています。

――そうした成果を、公表されたのはいつ頃のことですか？

ディール　フェアチャイルド社は他の企業に比べて、研究成果の公表については非常にオープンな方針をとっていました。他の企業なら発表を認めなかったかもしれませんが、われわれは研究成果のほとんどを出版物にして刊行することができました。

――それはいつ頃でしたか？

ディール　一九六四、六五、六六年でした。実際フェアチャイルド社は長年にわたってリベラルな政策をとっていましたので、多くの人々がわれわれの研究データを求めて世界中からやってきました。もちろん一九六〇年代には、日本からも大勢の方がいらっしゃいました。当然のことながら、他社に一歩先んずるために極秘のものはお教えするわけにはいきませんでしたが、それ以外は親切に教えてあげました。そのおかげで、今日でも日本に多くの

すばらしい友人がいます。

一般的にMOSデバイスの電極に電圧をかけて摂氏二〇〇度から三〇〇度に熱してやると、ナトリウムやカリウムなどのアルカリイオンがシリコン酸化膜の中を移動し始めて動作が不安定になった。これを彼らはドリフトと呼んでいたが、ドリフト現象にはさまざまなタイプがあり、その詳細はフェアチャイルド社の極秘事項として秘匿(ひとく)されたというのである。

ディール　アルカリイオンが原因で起きるドリフト以外にも、ドリフトを起こす要因はいろいろとあることがわかってきました。熱酸化シリコンに関連するドリフト、ポジティブ固定酸化物に関するドリフト、トラップ酸化物に関するドリフト、インターフェイスの可動性イオンに関するドリフトなど、さまざまなドリフト現象が解明されたのです。そこで私たちはアルカリイオンによるドリフトを「ドリフト1」とし、次々と見つかった現象を「ドリフト2」「ドリフト3」といった具合に番号をつけました。最後は「ドリフト19」でしたから、一九のドリフト現象をつきとめ、その原因を解明できました。これらはフェアチャイルド社の貴重な財産として、けっして外部には出しませんでした。

——なるほど。

ディール　ですから一九六八年にロバート・ノイスとゴードン・ムーア、それにアンディー・グローブの三人が、フェアチャイルド社を退社して新会社インテルを設立したんですが、アンディー・グローブはそのとき研究中だった「ドリフト13」と、それまでに解明できていた一連のドリフト情報を手にして退社しました。つまり「ドリフト13」は大金という活性化エネルギーによって、アンディー・グローブ氏とともにインテル社に移籍した、などと

私たちは冗談を言い合ったものです。

ＭＯＳ型製品の不安定原因が判明し、その対策がわかってしまえば、ＭＯＳはトランジスタ単体の実用化を通り越して一気にＩＣからＬＳＩの時代へと突入したのである。一九六四年にはＴＩ社やＧＭＩ社などが簡単な論理回路を搭載したＭＯＳ・ＩＣを発表。四年後の一九六八年（昭和四十三年）には同じくＴＩ社が一四〇〇個のＭＯＳＦＥＴを搭載したＬＳＩの試作に成功した。こうしてアメリカでは激しいＭＯＳ・ＬＳＩの開発競争が始まっていくのである。

第6章 アメリカからのノウハウ

▩生産歩留まりの高いアメリカへの発注

さて、日本に戻ってみることにしよう。ＭＯＳ・ＬＳＩの開発は電子装置の小型化を促進し、それは輸出機器の振興に役立つと考えた通産省は、ＭＯＳ・ＬＳＩの研究開発には補助金を出していた。半導体メーカーはこの補助金を受けてＭＯＳ・ＬＳＩの研究に着手していたが、ＭＯＳの不安定さはなかなか克服できなかった。

フェアチャイルド社がＭＯＳの不安定性を克服したと伝え聞いたシャープの佐々木正さんは、その旨を日本の半導体メーカーに伝えて、電卓用のＭＯＳ・ＬＳＩの製造を頼み歩いた。しかし、ＩＣのために巨額の設備投資をした日立製作所も日本電気も、ようやく初期歩留まりの低さを乗り越え、これから利潤を手にできるという段階に入っていた。

そこに佐々木さんが次の話を持ち込んだ。今度は格段に製造困難なＭＯＳ・ＬＳＩをつくってくれというのである。二社は尻込みしてＭＯＳ・ＬＳＩの注文を断った。三菱電機が試作だけはやってくれたが結局、製造を断った。

一九六八年（昭和四三年）五月ＭＯＳ・ＬＳＩの製造をすべての国内メーカーに断られた佐々木さんは、アメリカ中の半導体メーカーを駆け巡った。電卓用ＭＯＳ・ＬＳＩの製造を頼み歩いたのである。西海岸のフェアチャイルド社を振り出しに、東海岸を経て南のテキサス・インスツルメンツ（ＴＩ）社まで、全部で一一社。そのすべてが佐々木さんの申し出を断った。発注量の多さと、値段の安さに尻込みしたのである。

佐々木　私はね、フェアチャイルド社の発表には大変感謝しているんですよ。あそこの技術陣が

いろいろな解決策を学会で発表してくれたおかげで、MOSデバイスの工業化が軌道に乗ったんですからね。ナトリウム対策とか静電気対策とか、非常に具体的に示してくれた。

——なるほど。

佐々木　作業員は手首に金属の鎖を巻いて、それをアースしながら作業しなければいけないとか。ハンダごてもアースするとか。運搬中の帯電対策として製品を錫箔に包んで荷づくりしなければいけないとか。ウエハー表面はむろん完成したデバイスも絶対に素手で触ってはいけないとか。詳細な対策を発表してくれた。

——佐々木さんも、それを聞いて「しめた」？

佐々木　そう。この発表からアメリカでは、一斉にMOSデバイスの工業化に取り組んだ。もともとアメリカのICメーカーは、軍から研究費もらってやってきたのだから、生産目的も軍需中心ですからね。特に空軍は航空機やミサイルに搭載する電子機器を、可能な限り小型・高性能なものにしたかった。そこでICの採用にいちばん熱心だったのも空軍だったのですが、彼らにしてみれば、ICは集積度が上がれば上がるほど望ましい。集積度の点から言えば、MOSデバイスの右に出るものはないわけで、ICメーカーは競って、MOS・LSIの製造に乗り出したというわけ。

——日本で振られた佐々木さんにとっては、渡りに船ですね。

佐々木　いや、だからといって、すぐにアメリカに飛んだわけではない。フェアチャイルド社がすでに成功し、その方法も発表しているのだから国産でもやってほしいと国内各社に腰を低くして頼み歩いたんですわ。だけど、どこも腰を上げてくれなかった。

——それでアメリカの会社に頼もうと考えた？

佐々木　そうなんです。それでね、アメリカ中で、ＭＯＳをやっていそうな会社のリストをつくりましてね。

——どうやって？

佐々木　アメリカ中から会社案内やカタログを取り寄せて、検討しました。それで訪問すべき相手をリストアップし、面会の約束を取りつけたのです。もちろん最大の目標は、フェアチャイルド社でした。二番目がＴＩ、ほかにもモトローラ社、ＡＭＩ、ナショナル・セミコン、ＲＣＡ、ウエスチングハウス、シルバニアなど全部で十数社を予定しました。ノースアメリカン・ロックウェル社は、最初予定になかった会社でした。

——どうでした？

佐々木　フェアチャイルド社からは、あっさり袖にされました。それから東海岸に回ったんですが、ＭＯＳの技術に自信がなかったり、軍の仕事で忙しかったり、なかなか相手探しが難航しました。

——ＴＩ社では？

佐々木　ＴＩへも行きましたが、断られました。

——こちらの提示する値段と、折り合わなかったんですか？

佐々木　それと、とてもわれわれの要望するような数が保証できないと。なにしろ当時はまだＭＯＳデバイスの歩留まりが低かったものですから数ができなかった。そんなわけで、どこも軍の仕事で手いっぱいだったんですね。

――とても民需のＬＳＩなど、つくる余裕がない？

佐々木　加えて、こちらの言い値が恐ろしく安い。これじゃ利益が出ない。それよりは高く買ってくれる軍のほうが利益が出る。何を好んで利益の悪い仕事に手を染める必要があるかということですよね。

――いくら高くても、軍が買ってくれる……。

佐々木　そう。だから彼らには、薄利多売という考えがまったくなかった。

――ヘンリー・フォードの国で、そんなことに気がつかなかったんですかねえ。量産はアメリカの専売特許でしょうにね。

佐々木　それができとったら、向こうは民需の分野でも日本を寄せつけなかったはずですよ。

――そうすると、向こうの軍需体質が原因でしょうか？

佐々木　それと株主がうるさい。株の配当が少なかったら、経営はただじゃすまない。短期の利益ばかり考えると、「損して得を取る」ということがやりにくい。

――向こうのそういう資本体質みたいなものも、影響してるんですかね？

佐々木　それは大きかったと思いますね。

――それなら、ロックウェルは何で仕事を受けたんでしょうね。

佐々木　やはり社長のアイストンが、賢明だった。量産効果で原価が急激に下がることに気がついたんでしょうね。最初受けるときの原価では利益が出ないようだけど、数つくっていくうちに利益が出てくる。まして歩留まりが上がってくれれば、利益は莫大になる。結局、数があれば、生産初期には利益が出なくても、やがて利益が沢山出て、初期の損失を補って

現在のテキサス・インスツルメンツ社

余りある。数さえ確保できれば平均的な利益は、必ず確保できることを悟ったんだと思いますよ。

――気がついた……。

佐々木　ええ、気がついた。と言うより、私がそのことを何回も口酸っぱく説いたんです。日本流の薄利多売の精神をね。「損して得を取れ」と。

頼みの綱ともいうべきＴＩに断られて再び西海岸に戻って来た佐々木さんは、しばし途方にくれた。予定した会社には、すべて断られてしまったのである。急遽予定にはない会社をさがして訪れることにした。それがノースアメリカン・ロックウェル社であった。ミニットマン・ミサイルに搭載するＬＳＩをつくっていると聞いたのがきっかけであった。

訪ねてみると、アイストン社長と彼のスタッフは、佐々木さんの話を熱心に聞いてくれた。ロックウェル社の事業についても積極的に説明

アイストン社長

当時のノースアメリカン・ロックウェル社

してくれ好意的であった。およそ丸一日、シャープの電卓事業と、それがもたらす利益について佐々木さんが説明した。初回の契約がおよそ三〇〇〇万ドルの発注になると佐々木さんが言うと、アイストン社長は驚愕し、スタッフたちは息をのんだ。彼らの表情を見た佐々木さんは、「これは脈がある」と明るい気持ちになって翌朝の返事を待った。

佐々木　ところが、結局ロックウェルも駄目でした。私は必死で説得したんですがねえ。電卓は大衆商品だから、当たれば膨大な数が出る。だから最初は利益が上がらないように見えても、やがて必ず莫大な利益が上がるとね。それから、いつまでも軍需ばかりやっていると、必ず困るときがやって来るに違いない。軍需と民需のバランスをとっておくほうが、会社のためには安全ですよと説いたん

です。

――長時間、話し合ったんですか？

佐々木　一日ですわ。

――丸一日？

佐々木　はい。それで翌日の朝、最後の確認に行ったら「お受けできない」でしょう。そりゃショックでしたよ。お先真っ暗。絶望的な気持ちでロックウェル社をあとにしたんです。

――最後の会社だったんでしょう、ロックウェルが？

佐々木　最後の会社です。なかなか好意的で、あちらもいろいろとデモンストレーションをしてくれましてね。ロックウェル社の得意技術を解説してくれたり、ひとかかえもあるパンフレットをくれたりね。こちらは脈があるなと喜んでいたら、最後に「お断り」ですから、がっかりでしたよ。

――何が不成立の原因だったのですか？

佐々木　最後に値段と数量を提示した途端、彼らはビビッて尻込みしはじめた。

――想像を絶する数の多さ、想像を絶する価格の安さに仰天した？

佐々木　ええ。

――一体、その数量と価格というのは？

佐々木　三〇〇万個を三〇〇〇万ドルでどうだ、と提示したのです。

――ＬＳＩチップにして三〇〇万個？

佐々木　そうです。

――それで向こうは黙っちゃった？

佐々木　そう。絶句したまま。私のほうはそれは良い反応だと思ったんですがね。結局、もの別れでした。

最後の望みを絶たれた佐々木さんは、悄然と空港に向かった。うちひしがれて搭乗を待つ佐々木さんを、空港アナウンスが呼び出した。行ってみるとロックウェルからの使者が待っていた。日系二世の通訳が、「重大な用件ができました。帰国を延期してください」と言って、佐々木さんを迎えのヘリコプターに案内した。ヘリコプターはロサンゼルス空港から三〇分飛んでアナハイムのノースアメリカン・ロックウェル本社に着いた。アイストン社長と彼のスタッフが佐々木さんを丁重に出迎えて、会議室に案内した。彼らは、一転して電卓用MOS・LSIの製造に合意した。

佐々木　空港で搭乗を待っていたんです。すると場内アナウンスが、私の名前を呼ぶんですね。急いでカウンターに行ってみると、香川さんという二世の方がいて「帰国を延期してほしい」と言うわけ。ヘリコプターが待っているから、それに乗って、もう一度アナハイムのロックウェル本社に戻って欲しいというんですね。

――ヘリコプターで、空港からロックウェル本社にですか、VIP扱いですね。

佐々木　そうです。それでさっそく、香川さんと一緒にヘリコプターで駆けつけてみると、ロックウェル本社ではアイストン社長が待っていまして、「当社もミニットマン・ミサイル搭載のコンピューター用LSIをつくるので余裕がないんですが、電卓の仕事もやりましょう」と言うわけ。最後の土壇場で、電卓用のMOS・LSIをつくってくれることになった。本当にアイストン社長は、シャープの恩人ですわ。

――何が、アイストン社長の決心を変えたのでしょう？

佐々木 私が帰ったあとで、彼らは社長を中心に私の話を吟味したんですね。私の話を聞いていた側近たちが受けるべきだとアイストン社長を説得したんだと思いますね。そうじゃないと、あんなに早くアイストンの気持ちが変わるはずがないと思うんです。そして、おそらく側近たちはフェアチャイルド社の発表を引き合いに出して、ＭＯＳ・ＬＳＩの量産歩留まりを上げる方法があると、社長に吹き込んだのだと思います。

――そして、アイストン社長は決心した。

佐々木 アイストン社長というのはわれわれの恩人ですから、退職されたときは、われわれがアメリカにつくった会社の社長にお迎えしたんですわ。もう亡くなってから久しいんですが、私はシリコンバレーに行ったら必ず彼の墓にお参りして、新型のＬＳＩ電卓ができるごとに、お供えしたものです。

初回の会合で佐々木さんの申し出を断ったあと、ロックウェルのスタッフは、アイストン社長に三〇〇〇万ドルの仕事を受けるように説得したという。アイストン社長が最も逡巡した理由は、三〇〇万個という数にあった。製造歩留まりの低劣なＭＯＳ・ＬＳＩを、三〇〇万個製造することは不可能に思えたのである。また、製造歩留まりが低くても価格不問で買ってくれる軍だから採算が取れるので、シャープの提示した値段では採算割れになるのが目に見えていた。

しかしスタッフは、フェアチャイルド社の成果を例に引いて社長の翻意を促した。高い生産歩留まりを確保する道がすでに確立しており、歩留まりが上がれば、採算が合うばかりか莫大な利潤を手にできると説いたのである。こうしてアイストン社長は、最初の決断を翻し、一転シャープの電卓用Ｍ

ＯＳ・ＬＳＩの製造に合意したのであった。

たった四通りの基本回路

正式契約のあと、シャープからは若い技術者がノース・アメリカン・ロックウェル社に派遣された。入社三年目の吉田幸弘さんであった。昭和四三年（一九六八年）九月のことである。初めての海外出張に緊張する吉田さんの鞄には、シャープ技術陣が設計した一〇枚の設計図が入っていた。それらをロックウェルの技術者に説明し、ＭＯＳのＬＳＩにつくってもらうのが彼の役割であった。

吉田　いや、初めての飛行機ですからね。ハワイ経由でロサンゼルスに着きました。二世の方ですけど、空港まで迎えに来ていただきましてね。私、一人で会社まで行くんかなと実は思ってましたけど、やっぱり迎えに来ていただきましたので安心しました。

――それで？

吉田　ロックウェル社に行っていちばんびっくりしましたのは、ものすごい広いところにポツンポツンと何階建てかのビルがありまして。そのうちの一つに案内されて、「ここがあなたの仕事場です」と言われました。ところがエンジニアがいてる建屋と、私が実際に与えられた場所とは完全に隔離されてましてね。ロックウェルがミサイルや宇宙産業をやってる会社でございましたので、秘密、秘密で大変でした。

――軍事機密で？

吉田　ええ。エンジニアと会おうと思ったら、その都度、本人に電話をして、私がいてる部屋ま

吉田幸弘氏の仕事場があったビル

最初に渡されたたった１枚の図面

吉田さんがロックウェル社に持参した設計図

で迎えに来てもらって、エンジニアの部屋まで連れて行ってもらうんですわ。ところが私は資料を入れた鞄持って、エンジニアのビルに入ろうとするとね、守衛さんみたいな人がいちいち私の鞄を開けて、中に何が入ってるか調べるんですわ。そして ビルを出るときもまた鞄を広げて、何か入ってないか調べるわけです。そりゃ、ゴツう厳しいところでした。

——極秘エリアだったんですね？

吉田　そう。鞄の中にカメラなんか入っていようものなら、エライことですわ。取り上げられるだけじゃすまない。日常の生活でも並みの警戒じゃなかった。カッコ悪い話ですけどトイレに行くときだって、必ずエンジニアがついてきて、私が終わるのを待っているんですから。

——トイレに行くと言って、ほかの所を見に行かないように？

吉田　そうです。それだけ厳しく秘密漏洩に神経を使っていたんですね。アメリカの会社というのは、技術を守るのにすごい苦労をするものだとびっくりしました。

吉田さんは、昭和四〇年に同志社大学の大学院工学研究科を出て、シャープに入社した。入社直後から電卓のＩＣ化に従事したが、最初はバイポーラ型（ＭＯＳではない通常型）を使った電卓のＩＣ化に取り組んだ。昭和四三年になって、シャープは通産省の補助を受けてＭＯＳ・ＬＳＩ電卓の開発を進めるようになったが、彼はその一翼を担っていた。

ロックウェルに持参した設計図は、論理回路がＢ４判の紙一〇枚にびっしりと書き込まれていた。文字通り、それは膨大な数のクラゲ記号や釣り鐘記号の連鎖であった。入力、演算、記憶、表示などそれぞれを無数の論理ゲートを駆使して、シャープの技術陣が組み立てた労作であった。持参した吉田さんですら、「こんな膨大な回路がＬＳＩになるのだろうか」と危ぶんだほどである。

吉田　ロックウェル社には、日本で私が当時設計した回路を持って行ったんです。こういう非常にごく一般的な回路でしたが、それを向こうのエンジニアに渡したら、ある日彼らからまったく別の回路図を渡されたんです。

——なるほど。

吉田　最初に渡されましたのが、一枚だけ(二七四ページの写真参照)。その紙一枚だけ実は渡されましてね。これは当時を思い出して書き直してみたもので、本ものじゃありませんが、まったくこれと同じものです。

——だれから？

吉田　二人のエンジニアから。これで勉強しなさいということなんですわ。

――たった一枚ですか。

吉田　たった一枚です。最初はまったくチンプンカンプンです。何のことかさっぱりわからない。もうまったく違うんですよ、われわれの考えとは。図面に①、②、③、④と番号が打ってあるのですが、それぞれの回路のタイプなんですね。その四つのタイプを組み合わせるだけであらゆる回路を構成しようというんですね。フリップ・フロップからレジスターから、あらゆるゲートも全部これでつくる。

――基本回路がたった四通り？

吉田　たった四つの基本回路を使って、あらゆる回路を組み立てるんです。

――何がメリットなんですか？

吉田　クロックがかかっているので、電流消費がほとんどないという方式なんです。

――消費電力が非常に少ない。

吉田　ものすごく少ない。日本の場合は消費電力が目茶苦茶に大きかったんで、それに比べたら、まるで消費電力がゼロに近かった。

――日本の回路は、そんなに電気をいっぱい食ったんですか？

吉田　そりゃ、大食いもいいとこですわ。日本で設計したやつなんか、こんな膨大な回路がLSIになるんかなという感じでしたよね。だからロックウェルの回路方式を見せられまして、驚いたのなんの。日本にはこんな考え方がまったくなかったものですから想像もしていませんでした。だから、日米の技術格差をまざまざと見せつけられたというのが、最初のい

ちばんの印象でしたねえ。

――日本には片鱗もなかった考えでしたか？

吉田　片鱗もなかった。

――じゃあ、最初は理解できなかったんでしょうね。

吉田　まったく理解できなかった。

――どうなさったんですか？

吉田　知識はない、教えてもくれない。たった一枚の紙を持って頭をかかえましたよ。

――教えてもくれないんですか。

吉田　聞いたことしか教えてくれませんでした。しかし、何を聞いていいかがわからない。

――手掛かりがない。

吉田　そう。だから結局イロハから教えてもらいたいんですが、それが簡単ではなかったんです。

――建屋は離れているし。

吉田　そう。だから、一度エンジニアの部屋に連れて行ってもらったら、できるだけ長時間粘ることにした。

――ほう、それは？

吉田　彼の部屋には黒板がありまして、そこにいろいろと書いては説明してくれるんですが、英語がわかっててもわからんような顔をして聞いていると、彼は何回も繰り返し説明するし、黒板の図式もなかなか消せない。理解できたような顔したり、うなずいたりすると、彼はすぐに黒板を消しにかかる。だから、わからんような顔して、絶対にうなずかないことに

した。彼が何度も説明を繰り返している間に、黒板を必死に写し取る。

――ノートに？

吉田　そう。恥ずかしながら、そんな日々が続きましたよ、最初は。

――じゃあ仕事のしようがないじゃないですか。

吉田　仕事なんかするどころじゃありません。最初はもうひたすら何か質問を考えては、エンジニアの部屋に連れて行ってもらうことばかり考えた。この回路を私はこう思ってるんだけども間違ってませんかとか。そうすると彼が私を連れにきてくれて、彼の部屋で黒板で解説してくれる。

――突然英語ができなくなって、写経坊主に変身した？

吉田　いや、英語だって最初からできないも同然でしたよ。「ジャック・アンド・ベティ」世代ですから私たちは、あはははは。

――ノイローゼになりませんでしたか？

吉田　いや、そりゃもうノイローゼ同然ですわ。周りにだれも日本人はいませんし、私一人でしたから。でも何とか持ちこたえて一か月半ぐらいたって、ようやくロックウェル社の回路技術がおぼろげながら理解できるようになりました。論理回路の組み立て方とか、回路の意味だとか、分散ロジックの原理と実際とかが、やっと理解できるようになりました。それまでが地獄の一か月半でした。

日本から用意して行った一〇枚の回路図は、片鱗も残っていなかった。たった一枚の図面を見せられて、「すべてはこの四種類の組み合わせでつくる」と言われても、吉田さんの理解を超えていた。

見たこともない論理設計手法に触れる

日本では見たこともない、論理設計の手法であった。まず基本から勉強し直す必要があったが、軍事機密の壁に阻まれて技術者から自由に教えを請うことができなかった。技術者に面会を求めるだけでも面倒な手続きを踏み、厳しいルールを守らねばならなかったのである。

吉田　今から思い出してみると、いちばん勉強になったのがキャンプに参加したことでした。

――会社の遠足かなにかですか？

吉田　いいえ、私の相手をしてくれたエンジニアは、週末になりますと、必ず土日を休んでキャンプに行くことが多かったんです。そんなとき、彼が誘ってくれるものですから私は連れて行ってもらったんです。キャンプが絶好の機会やと思いましてね。

――何のチャンスだと？

吉田　もちろん勉強のですよ。彼から最初に渡された一枚の紙をポケットに忍ばせてね。車の中でこの紙を見せまして、「僕はここがわからん、もうちょっとわかりやすく説明してください」とお願いしたんですわ。「回路の一つ一つはわかったけども、これでロジックを組む方法がよく理解できないから」と言ってね。

――彼は？

吉田　もちろん呆れた顔をしていましたが、そこはやっぱり相手もエンジニアですから、こちらの気持ちが通じましてね、それはもう手とり足とりでぜーんぶ教えてくれました。会社のなかでは規則ですから、黒板に書いたことをすぐ消しますけど、大自然のなかでは彼もお

おらかな気持ちになって、時間はたっぷりあるし、言葉が不便でも気持ちが通じ合って懇切丁寧に教えてくれました。

大学院を出たうえに入社後は一貫して電卓開発に従事してきた吉田さんは、知識も経験も決してひけをとらないと思っていた。しかし、彼の自信は最初の一日で砕け散った。日本ではまったくなかった設計手法の概念と実際を理解するだけでも、必死の努力が必要であった。

一刻も早く本社に実情を報告しなければならないのだが、技術の真髄が理解できないから報告書が書けない。そんな苦悩の日々を送っている最中に、本社から浅田篤部長が出張してきた。

吉田　そんなわけですから、最初のうちは本社に何を報告してよいかわからない。ですから、あんまり報告もしませんでした。そうしたら、ちょうど一か月半ほどたった頃、浅田部長が出張して来られて、私のいるモーテルに立ち寄られた。それで「何やってんねん」という話ですねん。「いやいや、実は、向こうから渡されたのが、この紙一枚なんです。何とまあ、これが四相のロジックという方式で、こんなん生まれて初めて聞きました。まったくチンプンカンプンでしたが、最近ようやっとわかってきた段階です。だから、今までは報告のしようがありませんでした」と経過を聞いてもらったんですわ。「おそらく日本では、なんや、あいつ、海外行ったきり何も報告せんと何してるんやと言われているのは承知していましたが、なんせ今説明した通り恥ずかしながら書くことができなかったんですわ」とね。それにロックウェル社からは、本社へ勝手な報告をしては困ると言われていたことも伝えましてね。

——浅田部長は？

吉田　理解してくれましたよ。それればかりか、ロックウェルの回路方式に大変衝撃を受けた様子で、「その紙よこせ」と言うんですわ。

――四相ロジックを書いた紙ですね？

吉田　そう。最初にもらった、あの一枚ですよ。しかしロックウェルのマネージャーからは絶対に他人に渡したらいかんと厳命されていましたので、一瞬困ったんですが、浅田さんには渡しました。浅田部長は非常に勘の鋭い方でしたから、これは将来のシャープを育てるといいますか、シャープの技術を左右するものだと感じたようで、あの一枚だけを、こっそり私から受け取って帰られました。

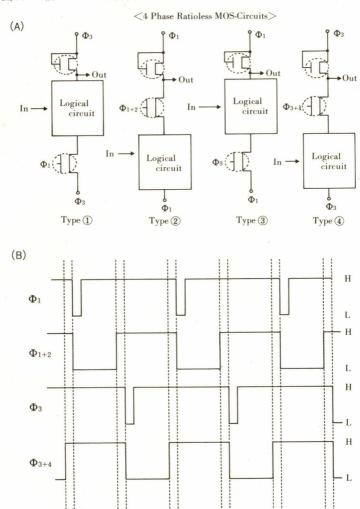
――内緒に？

吉田　内緒に。僕はもう、いっさい何も言わなかったです。

次ページの図32は、吉田さんがロックウェルの技術者から提示されたという一枚の図面である。実際には手書きのメモに過ぎなかったが、ここではきちんとした図面に書き直してある。一番上には「4 Phase Ratioless MOS Circuits」と表記されている。直訳すると「四相レシオレスMOS回路」である。意訳すると、四種類の同期信号で四つの論理回路を順次に時間差で駆動していく、MOS・LSIという意味である。

全体が、上段と下段に分けて図面が書かれている。上段に書かれているのが図A、下段が図Bである。

上段の図Aから説明すると、タイプ①からタイプ④まで四種類のMOSFETを使った回路パターンが並んでいる。四角い線で囲まれている部分にLogical circuit（論理回路）と記されている。たとえ

図32　4相レシオレスMOS回路

ば、入力制御の論理回路がここに収まることになる。四種類のパターンを用意したのは、おそらく入力、演算、記憶、表示の四つの機能を想定したうえでのことに違いない。それぞれにＩＮと記してあるのは、論理回路に入る信号の入口である。ＯＵＴは信号の取り出し口である。

問題は、点線の円で囲った部分である。これはＭＯＳＦＥＴを表現する記号であるが、Ｔの字を横向きにしたような記号の部分が、ゲート電極の印である。ここに同期信号をつないで、スイッチとしてのＭＯＳトランジスタをＯＮにしたりＯＦＦにしたりするのである。その結果、四角い枠の中の論理回路が同期信号に従って、「駆動」したり「停止」したりする。つまり、タイプ①から④までの四つのＭＯＳ回路は、四つの論理回路を駆動したり停止させたりするためのスイッチング機構なのである。四つの論理回路を時間順にタイミングよく切り換えて使うことで、回路全体の単純化を図ろうというのが狙いであった。結果として装置に使う素子の数が劇的に減り、超小型、省電力化が実現できるというわけである。

図Ｂは、四つの同期信号を送り出すタイミングを表している。左縦軸に上からϕ_1（タイプ①のゲート電極）、ϕ_2（タイプ②のゲート電極）、ϕ_3（タイプ③のゲート電極）、ϕ_4（タイプ④のゲート電極）が並んでいる。つまり四つの論理回路を「駆動」させたり「停止」させたりするＭＯＳ回路がここにつながり、スイッチとして働くのである。

右端に記されたＨとＬの表示は、それぞれHighとLowの略である。ＭＯＳのゲートに加える電圧の高低を表すのだが、Highを「１」とし、Lowを「０」とすれば、電圧を「加える」か「加えない」かという意味であり、そこにつながる論理回路全体を「駆動」するか「停止」するかということである。したがって実線がＨのレベルにある間は回路が働いていることを表し、Ｌのレベルにあるときは働い

ていないということになる。
同期信号によって、ある瞬間にはタイプ②と④と①を働かせ、次の瞬間にはタイプ①②③を、続いて③④②を、最後に②③④を駆動する。この繰り返しで四つの回路を少ない電力で働かせることが可能になったのである。

実はここまで理解できるようになるまで、吉田さんからもらった一枚の図面をひねくりまわして筆者は七転八倒した。何度も吉田さんのテープを見ながら図面とにらめっこをしたものである。ようやく理屈のあらすじが読めたような気がしたので、文章にして吉田さんにファクシミリで送り、検討してもらった。やがて返事が届いた。

「技術的な部分をチェックしました。大変よく理解しておられます。しかも非常にわかりやすく書けていて感心しました。ただ一点だけ部分的な修正をされたほうがより正確になると思います。論理回路には正論理と負論理があります。一般には正論理が多く使われますので、Highを『1』と考え、Lowを『0』と考えたのはもっともだと思いますが、実はこの四相レシオレスMOS回路は負論理を使っていますので、Highが『0』でLowは『1』になります。ですからタイミングシートは『Lレベルにあるときは回路が働き、Hレベルにあるときは停止している』と読むのです。」まったく素人の知ったかぶりは、どこで墓穴を掘るかわかったものではない。

吉田　もちろん私たちもLSIにつくって欲しい電卓用の回路を設計して持参しましたし、それを私がロックウェルの人たちに説明はしました。しかし、それは電卓という機能を伝えるうえでは役に立ちましたが、彼らが電卓用に書いた図面は全然違うものでした。彼らは彼らの理論に従って完全につくり換えたのです。

——片鱗もなく？

吉田　私たちが書いた回路は、片鱗も残っていませんでした。

——どこが、どう違ったのですか？

吉田　当時、私たちが日本で設計していたやり方というのは機能別方式なんですね。機能ごとにLSI化していくという方式でした。タイミングならタイミング用の回路をLSIに、加算機なら加算機用の回路をLSIに、記憶装置なら記憶装置の回路をLSIに、そういうところを機能別にいろいろLSI化していたのが当時の日本の技術でした。だからLSIチップが八つぐらいも必要だったし、したがって全体はどうしても大きくなるわ、大電力も食った。ところが、ロックウェル社のディストリビューティッド・ロジックという分散ロジックを使えば、消費電力がものすごく小さくできた。

——電卓にぴったり。

吉田　回路の消費電力が小さくできるということは、MOSトランジスタ一個一個が小さくできるから、その結果として電卓も小型にできた。そのへんがいちばん革命的なことだったと思いますね。

■電卓にぴったりのMOS・LSI

吉田さんが新しい知識を吸収し、その詳細を本社に報告できるようになると、シャープでは新技術の真髄を徹底的に分析した。そして電卓のMOS・LSI化がまったく合理的な選択であったことを、

今さらながら知るのである。

アロイ（合金）型からメサ型を経てプレーナ型に至るまで、常に特殊仕様を要求し信頼性の高いものばかり使い続けてきたコンピューターメーカーは、不安定で劣化の激しいMOS製品を激しく嫌った。しかし、ラジオ用の市販品をだましだまし電卓に使ってきたシャープは、MOSの不安定性など、その利点に比べればとるに足らない問題であったという。だからこそシャープの技術陣は電卓のMOS・IC化、MOS・LSI化を進めてきたが、MOSの思いもよらない使い方を知って、驚愕し狂喜した。

当時産業機器事業部技術課長だった鷲塚諌さんは、次のようにシャープ電卓のMOS・LSI化について回想している。

鷲塚　コンピューターを経験してこられた方は、MOSには興味を示されませんでした。同じトランジスタでも、コンピューター用に厳選され信頼性の高いものばかりを使っていたからです。私たちのように安いゲルマニウムトランジスタを使って、非常に苦しんだところはあまりないんですね。特性がシフトするなんていうようなことは当たり前だと私たちは考えていましたから。それをどうやって克服して使いこなすかが、生きがいだなんて考えていたくらいでして、MOSが不安定で扱いに苦労する厄介ものなんて聞けば、いいじゃないか、そんなに厄介な素子なら使いこなしてみせようじゃないかと思ったくらいですから。

――なるほど。

鷲塚　しかも、調べてみるとこれは電卓にぴったり。機能化率といいますが、たとえば四個のトランジスタを使って発揮できる機能をバイポーラと比較してみますと、MOSのほうがは

るかに高いんですね。

――何倍もですか。

鷲塚　何倍も高いですね。いちばん典型的な例は、たとえばダイナミック・メモリーの一ビットはMOSトランジスタ一個でできている。もしバイポーラでメモリーをつくることになると、トランジスタ一個ではとてもできない。

――いくつ必要になりますか？

鷲塚　そうですね……、まあ、四個使うか、八個使うか。

――えっ、そんなに違うんですか？

鷲塚　はい。「1」という状態と、「0」という状態を覚える場所がペアでいるわけですから、四つか八つは必要になる。

――それがMOSだったら、なぜ一個で済むんですか？

鷲塚　MOS一個でなぜ一ビットの記憶ができるかというと、コンデンサーと組んで仕事をするからなんです。コンデンサーが信号を溜めたり放出したりする。

――なるほど。

鷲塚　コンデンサーという信号保存所をつくっておいて、それを相手に溜めるか、溜めないか、鍵を開けたり閉めたりするのがMOSトランジスタなんですね。MOSというのは基本的にはスイッチですから。コンデンサーが倉庫で、MOSトランジスタが倉庫の開閉をするスイッチなんですね。したがってメモリーというのは、スイッチとコンデンサーの組み合わせです。ただ信号が微小ですから、コンデンサーにチャージできる程度には増幅する必

要がありますから、増幅機能を入れてやらなければなりませんが、本質的にはコンデンサーとスイッチで仕事をするんです。

——なるほど。

鷲塚　構造も単純で集積度を上げやすいし、製造プロセスも簡単。しかも、今言いましたように機能化率は非常に高い。ただ動作スピードがその頃は遅いというのが欠点でしたが、電卓なんていうのは算盤程度のスピードでいいわけですから、コンピューターのようにスピードが問題にはならない。それなら充分MOSでいけると、踏んだわけです。

——なるほど。

鷲塚　その後わかったんですけど、MOSにいちばん適した回路というのは、繰り返すようですが、コンデンサーを相手にしてスイッチングをするという考え方なんですね。それを徹底的に追求していきますと、スイッチングをどういう位相で行うかというところに行き着くんですね。

——「どのような位相で行うか」というのは？

鷲塚　どのようなタイミングで行うかと、言い換えてもいいでしょう。つまりクロック・パルスといいまして、同期信号を使うわけですが、四つの基本回路を四つの同期信号で次々と駆動していこうという発想です。同期信号を四つとか三つとか使いまして、位相の違う状態で、コンデンサーを次々とスイッチングしていくという考え方です。

——なるほど。時系列で四つの回路が次々と切り換えられて働くわけですね。

鷲塚　そうしますと、結果としてものすごくエネルギーが節約できる。消費電力が小さくて済む

わけです。

――なーるほど。

四つの基本的な論理回路を次々とスイッチングしながら使いこなしていくことで、回路全体を単純化し、使う素子を激減させ、装置の小型化と消費電力の低減を図るというのがロックウェル社の回路技術であった。これを可能にしたのが、MOSトランジスタとコンデンサーを巧みに組み合わせて使うという方式であった。

コンデンサーという部品は、二枚の金属板が絶縁物を挟んで向かい合っているだけの構造である。この状態で金属板の両面に電池をつなぐと、誘電現象によって金属板の内面に電気が溜まった状態になる。金属板につないだ電池を離し、そのあと電流計を金属板の両面に触れると電流計の針がピーンと振れるのである。しかし針は次第に元に戻りはじめ、やがてついにはゼロで落ち着く。二枚の金属板の内面に溜まっていた電気が放電することで減っていくからである。六ボルトの電池をつないで離すと、電流計の針は最初六ボルトを示し、次第に下がりゼロになる。

金属板の面積が広ければ広いほど、対面する間隔が狭ければ狭いほど、多量の電気を蓄えることができる。つまり電池を離したあとも、蓄電状態を長い時間維持できる。コンデンサーの容量はマイクロファラッドという単位で表すが、たとえば部品屋で一万マイクロファラッドというコンデンサーを買ってきて単三電池を一瞬つなぎ、離したあとに今度は豆電球をつなぐと、ランプが点灯しゆっくりと消えていく。単三電池から供給された電気が瞬間的にコンデンサーに流れ、やがて飽和し内部に電気が溜まった。これが豆電球を点灯させたのである。

電力消費量が劇的に減る装置

写真AはMOSコンデンサーの働きを伝えるために工夫した表現模型である。テレビ表現のために苦肉の策であった。実物の雰囲気を重んじながら、原理を伝えるために知恵を絞ったのである。

写真の下部分に写っているのがMOSトランジスタの模型、写真の上部分に写っているのがコンデンサーの模型である。それは発泡スチロール板の両面にアルミ箔を貼っただけのものであるが、なかには一万マイクロファラッドのコンデンサーを埋め込んで、端子の両端をそれぞれアルミ箔に表と裏に接触させてある。つまり発泡スチロールの両面に貼ったアルミ箔が、中のコンデンサーの端子につながっている。模型のコンデンサーの両面に単三電池を一瞬だけ接触させ、離したあと豆電球をつなぐと点灯するのである。

模型のMOSトランジスタは、二つのN領域に挟まれた海峡部分に蛍光灯を埋め込んで、スイッチを入れれば光るようになっている。ゲート部分には機械スイッチを埋め込んである。そのスイッチを押すと海峡部分が光り、MOSトランジスタがONになったことを示す。これの模型（実は単なるスイッチ）を介して、模型のコンデンサーと電池をつないだのが写真の一セットである。コンデンサーには、豆電球をつないである。

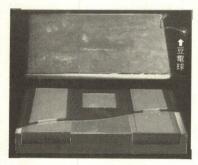
写真Aは、スイッチング素子としてのMOSトランジスタがOFFの状態である。N領域に挟まれた海峡部分は暗いままで光っていない。同期信号によって電圧がゲートにかけられていないから、海峡部分にNチャンネル層ができていないという想定である。コンデンサーには電気が行っていないから、豆電球は消灯したままである。

写真Bは、スイッチング素子としてのMOSトランジスタがONの状態である。N領域に挟まれた海峡部分は明るく光っている。同期信号でゲートに電圧がかけられ、海峡部分にNチャンネルの反転層ができたという想定である。スイッチング素子としてのMOSトランジスタがONになって、コンデンサーに電気が供給されたので、豆電球も点灯している。

写真Cは、スイッチング素子としてのMOSトランジスタがOFFの状態になり、コンデンサーにつながる電気が切られている。にもかかわらず、豆電球が点灯している。やがてゆっくりと消えていくのだが、完全に消えるまでに時間がかかる。この間はコンデンサーに電気が蓄えられているということになる。

つまり回路のなかにコンデンサーを巧みに使えば、電気を切っても一定の時間は装置が動作すると

A　MOSコンデンサーの表現模型（上がコンデンサー、下がMOSトランジスタ）。MOSトランジスタがOFFの状態。豆球消灯

B　MOSトランジスタがONの状態。豆球点灯

C　MOSトランジスタがOFFの状態になっても豆電球（右上）は点灯している

いうことになる。コンデンサーが完全に放電し終わる直前に、再び電気をつなげばよいというわけである。こうなると電気を切っている間も装置が稼働しているわけだから、全体の電力消費量が劇的に減るのは当然である。

ちなみに現代では、メモリーの多くがこのMOSコンデンサーを使っているのである。コンデンサーが電気(つまり信号であり情報でもある)を蓄える倉庫であり、MOSトランジスタが電気を出し入れするための扉である。信号が「ある」か「ない」かということさえ識別できれば、機能するディジタル回路では、MOSコンデンサーの組み合わせは、非常に利用範囲の広い仕組みであった。

鷲塚 そんな使い方が世の中にあるんだということは、日本ではほとんど知られてなかったんです。それがわかったのはずーっとあとのことですが、アメリカのアポロ計画の月面着陸用の機械のなかに超小型コンピューターが搭載されていまして、それがMOS・LSIで組まれていたんですね。そのMOSを太陽電池で駆動できるように、クロックド・ゲート・システムという論理回路を使って構成されていた。だから非常に消費電力が小さくても立派に働いた。これはバイポーラではとても太刀打ちのできない芸当だったんですね。この月面着陸船が成功した頃にMOS・LSIの時代が始まるんですが、こんな話はアポロ一一号が成功するまでは、われわれも知らなかったんです。

――ということは?

鷲塚 私どもは別にそんな知識があって、ロックウェルへ行ったんじゃなかったんです。それに近いことと言えば、二相のクロックドP-MOSを使ったシフト・レジスターというものがあるということぐらいは知ってましたから、同期信号とMOSを使って、消費電力を減ら

していく検討はしておったわけです。

――なるほど。

鷲塚　私たちが日本のICメーカーにMOS・LSIの話をもちかけたときにも、二相クロックドP-MOSによる電卓回路をLSIに集積してもらえないかとお願いして歩いたのです。ところがメーカーさんはどこも疑心暗鬼でして、思い切った決断をしていただけなかったわけです。まあ普通のICをつくるまでは、メーカーさんに協力していただいたんですけど、LSIは駄目でした。

――ところがロックウェルでは二相どころか、とっくに四つの同期信号でMOSを駆動するところまで進んでいた。

鷲塚　そうです。クロックド・ゲートの四相ロジックなんていうものがあるなんて、ロックウェルとやってみるまで知りませんでした。

――すると、ロックウェルの新方式はたまたまですか？

鷲塚　そう。佐々木さんは、四相ロジックなどという回路を目指してアメリカを歩き回ったんじゃない。ただひたすら何か変わったもんはないかということで、アメリカを歩いたんです。

――へえ、偶然の産物だったんですか。

鷲塚　もちろんシャープと契約するときにも、向こうは「当社は新しい画期的な回路技術をもっていますが、シャープさん、興味がおありでしたらまず契約をしてください。契約が済んだら技術者にも来てもらって、勉強してもらって結構です」というわけです。それもね、ロックウェルと仕事を始めてからも、当初は彼らもいっさい教えてくれませんでしたから、

私たちのこの回路方式がアポロ計画に使われたものだとは知らなかったのです。

——へえ、それも知らなかったのですか？

鷲塚　はい。アポロ何号でしたか、宇宙船が月面着陸に成功したとき、ちょうどシャープからはロックウェルに勉強に行っていたんですが、同時にロックウェルから電卓の勉強にシャープにエンジニアが来ていたんです。たまたま彼と食事を一緒にしたとき、彼が四相ロジックと同じ回路が月面着陸船に使われていると教えてくれました。

——やがて実体がわかって？

鷲塚　これはすごいと感心した。でもみんな若かったですから、やっぱり世の中というのは楽しいなと。行き詰まる、行き詰まると言うてるけど、広い世界にはすごいことを考えるやつがいるもんだ、われわれも負けないでやろうやと励まし合ったもんです。

コンピューター・シミュレーション

ここで本題に関する話は終わるのだが、もう少し吉田さんの話に耳を傾けてみよう。なにしろ国家の威信をかけて取り組んでいたミニットマン・ミサイルは、軍事技術の先端を行っていた。しかもアポロが月面着陸に成功してから判明したことだが、ノース・アメリカン・ロックウェル社は宇宙船に搭載するLSIもつくっていたのである。おそらく当時としては、世界の最先端技術をもっている会社の一つだったに違いない。したがって吉田青年は、どぎもを抜かれることが多かった。

吉田　なんでもかんでもびっくりしていて恥ずかしいんですが、最後にびっくりしたのが、コン

図33　コンピューター・シミュレーションに用いる計算式の行列

```
* DC2266 MASTER DECK, AS REVISED  15,SEPT.,68    D. W. LAKE      2
Y2AX2F= (RLY4 RLX4)-                                             2
YGXS   = (YEXOX RLY3 J1CC)-                                      2
SYT8FF= (N3 BAJ8 J11B TO BLT2)-                                  2
SYT8FG= (N1 JOH TO BLT2)-                                        2
SYT8FI= (TO BLT2 N6 (BAJ5F & (J7 J11B)))-                        2
YEXFL  = (YEXOX)-                                                2
MDCC   = (CT6 ALPHA BLT1)-                                       2
RYRC   = ((P TO EQM) & (BETA CT7))-                              2
SYT1F  = (CT7 ((N4 J5 BLT2 6C) & (ALPHA BLT1 BACFE)))-           2
SYT8FE= (TO BLT2 PP (CLK & (MK BAEQMF F BAJ4)))-                 2
SYTOF  = (BLT2 ((XLOXR N6 J7) & (6C CT7 (ALPHA & (N3 J9 XLOXR    2
         J11H & BAJ6F))))))-                                     2
SYT8F  = (SYT8X CT7 BLT1)-                                       2
LXRC   = ((CLK PP CT6) & (CT7 (ALPHA & RIXAN)))-                 2
SXT6F  = (P EQM FP CT6 BLT3)-                                    2
SXT7F  = (CT6 BLT3 BAFPF P (EQM & (J5 BAJ7F BAEQMF)))-           2
SYT80B= SYT8FH                                                   2
LXIN   = RLX2                                                    2
ERROR  = EH                                                      2
BAAF   = ((N5 WIN) & (N3 BAJ9F Z) & (CT6 ((RLX1 XLOXR) & (RLY1   2
        ( ALPHA & BETA)))))-                                     2
BABF   = ((TO BLT1 (N5 & (N3 BAJ9F))) & (CT6 ((ALPHA RLX1) &     2
        BLT1 (XLOXR & BETA)))))-                                 2
BSUBFA= ((N5 J2) & (N3 BAJ9F) & (N1 JOB J1 J6))-                 2
RLW3   = (RLW4F)-                                                2
```

ピューター・シミュレーションでした。LSIチップにする前の、コンピューターでの回路のテストです。

――なるほど。

吉田　これは当時のもので、ごく一部ですけど（図33参照）、ご覧になっていただければわかると思いますが、数学の計算式が並んでいますでしょう。論理回路図を数学的な計算式に表し

```
TIME

836900    1 01 000
837900    1 01 000
838900    1 01 000
839900    1 01 000
840900    1 01 000
```

（上）プリントアウトの一部、および（下）その拡大

たものなんですね。こんなペーパーが全部重ねれば、厚さにして一〇センチはあろうかというほどあったんです。

――シャープで開発してほしいと依頼した、電卓の全回路図を論理数学の式で表現したのですね？

吉田　そうです。式の末尾には1とか2とか3とか4とか番号がついていますが、それは先ほど説明した四つの基本的な論理回路の形式番号なんですね。たとえば2とあれば、それは基本回路のタイプ2がそこに入るという意味ですね。

――これをどうするんですか？

吉田　これをキーパンチャーのセクションに持って行って、ＩＢＭコンピューター用のパンチカードに打ってもらうんです。私の記憶では、パンチされたカードが全部で高さ八〇センチくらいになったと思います。そのカードを、今度はコンピューターセンターに持参して機械にかけるんですね。

――ほう。

吉田　私もロックウェル社のコンピュータールームに入ったのは初めてでしたから、びっくり仰天しました。とにかくむちゃくちゃ床面積の広いところでした。たぶん、あのときの記憶では、幅五〇メートル、長さ一〇〇メートルぐらいの床面積にコンピューターがびっしり並んでいました。ああ、これが宇宙産業の頭脳かと、どぎもを抜かれました。

――それ全部コンピューター？

吉田　全部。端から端まで所狭しと置かれていたのが全部最新鋭のＩＢＭの。そんなのいまだか

つて見たことがなかったし、日本に帰ってからだって、この歳になるまで見たことのない。それぐらい巨大なセンターでした。

——コンピューターセンターで何をしたんですか？

吉田　そこでエンジニアがカードをカード・リーダーにセットして、計算式をコンピューターに読みこませた。つまりインプットしたんですね。これロジック・シミュレーションと言うてましたけど。カードを読みこませてアウトプットすると、長い紙がプリントアウトされて来た。見ると、なんや「0」「1」ばっかりの行列ですわ（図33の左下部分、参照）。

——「0」「1」しかないんですか。

吉田　「0」「1」しかないんです。縦が時間軸で横が結果だそうですけど、これの「0」「1」を点検して、合ってるか間違ってるかを調べていくんですわ。

——それは人間がやるんですか？

吉田　はい。一行一行を目で追いながら検討するんです。このアウトプットが紙で、高さ五〇センチはありましたが、それを一枚一枚めくりながら。

——なるほど。

吉田　先ほどの四つの論理回路が、タイム・シェアリングといいますか、時間によって必要なところに配置されていますので、いつも時間を頭に入れて、「0」「1」を調べにゃいかんわけですよ。日本の当時の方式では、ゲート部分に関してはいっさい時間的な遅れは論理的にはないということでしたから、時間というのは頭に入れなくていいんです。記憶装置だけを頭に入れておけばよかった。ところが、この方式ではいつも時間を頭に入れながら、

「0」「1」の正否を調べにゃいかん。

——へえ。

吉田　その量たるや、プリントアウトにして五〇センチです。一回じゃとても正確を期せませんから、何回も繰り返し目を通したのです。誤りを見つけると、計算式と回路を修正してカードを打ち直して、コンピューターセンターに運んでインプットしてアウトプットを打ち出してもらう。こうして回路上の誤りをチップにする前に、コンピューター上で見つけて訂正していったのです。

——何回おやりになったのですか。

吉田　さあ、私の記憶では、二〇回近くやったと思います。

——二〇回……！

吉田　ええ。もちろん全部調べるわけじゃないですけどね。だんだん回数を追うたびに、調べるところは減っていきますから。それでも二〇回ぐらいは、調べたと思いますね。

——最初からうまくできました？

吉田　いやいや。最初は例によってアウトプットプリントをどさっと渡されて、「はい点検をして」と言われたんですが、そのときも途方にくれました。しかし、やり方を教えてもらってからは慣れました。電卓回路を数式にしてコンピューターにインプットするだけで電卓がうまく働くかどうかシミュレーションできるんですから、これにも私は本当にびっくりしました。

——日本では当時、そうした作業はどうしていたんですか？

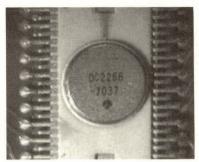
吉田　バラックで巨大な電卓を組み立ててテストしたんです。汗水たらしてプリント基板を何十枚もつくって、それらにトランジスタや部品をハンダごてで配線して、電卓と同じ回路を大きな装置に組み立てて、実際に動かしてみては誤りを見つけていったんです。それがロックウェルでは紙と鉛筆と頭だけを使って回路欠陥を見つけていたんですから、ま、驚いたのなんの。まるで別世界でした。

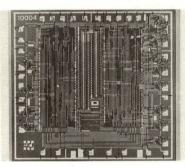
――コンピューターの利用法が、進んでいたんですね？

吉田　そうです。回路設計のシミュレーションばかりでなく、電子回路をLSIチップにするマスク図形も、コンピューターの助けを借りていました。いわゆるソフトが、日本では想像もできないくらい進んでいました。

宇宙船に搭載の超小型コンピューター

次ページの写真Aは試作が完了した量産前の電卓である。蓋をとると写真Bのように四個の丸いLSIが見える。入力、演算、記憶、表示などの回路を、PチャンネルMOSでLSIに集積してある。LSI一個だけを写したのが写真Cであり、シリコンチップに集積された回路の一例（演算回路）が写真Dである。このほかに電卓用プリント基板には、同期信号を発生させるクロック・ジェネレーターのLSIが一個ついている。動作電圧二五ボルト。四個のLSIが消費する電力がなんと画期的小電力、二ミリアンペアであった。

――もし同じ回路を日本方式でつくっていたら、どうなったでしょうかね？

C　1個のＬＳＩ

A　試作が完成した早川電機の電卓「マイクロコンペットＱＴ８−Ｄ」

D　シリコンチップに集積された回路

B　電卓の蓋を取ると４個のＬＳＩが見える（奥にもう１個ある）

吉田　いやあ、もうおそらく……。基板のサイズにして三倍、部品も配線もゴチャゴチャして手がつけられなかったと思いますね。

——チップの数にして何個？

吉田　八個。いやクロック・ジェネレーターも入れたら、もっと多いですね。

——コンピューター・シミュレーションで、あらかじめ回路修正したわけですが、結果は？

吉田　確かに一発で始動

しました。

——そうですか。当たり前と言えば、当たり前？

吉田　コンピューター・シミュレーションをもう徹底的にやりましたから、当たり前と言えば当たり前なんですけども、やっぱり驚きましたですよ、一回で動くなんて経験がありませんでしたから、日本では。

——それまでは？

吉田　日本でやってたときは、一発で動いたためしがないんですから。それが文字通り、試作一発で動いたんですから仰天しましたよ。

——本当に、何度も何度もショックを受けられたんですね？

吉田　はいはい、そうですとも。

この電卓の完成と前後してアポロ一一号が月に向けて飛び立ち、人類史上初めて人間が月面に立った。一九六九年（昭和四四年）七月二一日（日本時間）午前一一時五一分のことである。これを可能にしたのが、宇宙船コロンビア号と月着陸船イーグル号に搭載した超小型コンピューターであった。そして月着陸船のコンピューターに使われた回路こそMOSトランジスタとコンデンサーを駆使した論理回路であり、それらを四種類の同期信号で駆動する「四相レシオレスMOS回路」であった。ロックウェルの技術者が、そのことを明かしてくれたのはアポロ一一号が偉業を達成したあとのことであったという。

吉田　ロックウェルというのは、宇宙産業とかミサイルとか、ロケットの電子制御をやっていた会社なんですね。特に私が関係したセクションは、たまたまエレクトロニクス関連部署で

したから、ロケットの電子制御を専門としていたところだったんですね。アポロ計画の宇宙船を電子制御するLSIをつくっていたんです。昭和四四年には月面の軟着陸に成功しましたが、そのとき着陸船に使われていたさまざまな電子制御、たとえば、ロケットの姿勢制御とか、ジャイロスコープの制御とか、ロックウェルではDDAと呼んでいましたが、「デジタル微分解析器」の設計製造にも深く関わっていたんですね。

――アポロ一一号のコンピューターですか？

吉田 確か、あの宇宙船のコンピューターに使ったLSIものこの方式だったと聞きました。

余談になるが、吉田さんから資料を送ってもらうために何度か連絡を取った。そのたびに几帳面な字で整理された書類や図面を手際よくまとめて送ってくれた。そのたびに手紙の文末には、「私はたまたま、それを担当した技術者に過ぎなかった」のだと強調していた。

最後に略歴について触れるために連絡を取ると、吉田さんからのファクシミリが次のように結んであった。「私は本で取り上げていただけるような輝かしい業績があるわけではありません。また、けっして選ばれた人材でもありません。人生で良き先生や、上司や、同僚に恵まれ、精いっぱい仕事に取り組むチャンスを与えてもらえたことが大きいのです。このような身に余る機会を与えてくださった会社の方々に、深く感謝しております。私はけっしてドラマをつくった男ではありません。陰の技術者の一人に過ぎません」と。

シャープのMOS・LSI電卓は多くの技術者の努力が実った結果であり、自分が単にそのなかの一人であったに過ぎない。だから自分が突出した印象を与えるような扱いはくれぐれも避けてほしいというのである。何よりも和を重んずる日本企業の開発風土を、見事に伝えてくれる文面で興味深かった。

■アポロから生まれた電子ソロバン

さて製品名「マイクロコンペットQT-8D」は、大人の手のひらにやっと載るほどのハンディータイプの電卓であった。昭和三九年に発表された最初のコンペットと比べ、重量で六分の一、厚さで三分の一、価格で五分の一になっていた。次ページの写真Aは、女子作業員が整然と並んでウエハーを加工する組立て工場である。

ロックウェル社で製造された二〇〇万個のLSIが、ウエハーの状態で空輸された。その数、三インチ・ウエハーにしておよそ六六〇〇枚。それを女子従業員が一個一個のLSIに切り分けていく。三ミリ角に小さく切断されたチップを、リードフレームに載せ、チップ周辺にある四〇か所の端子に金線をつないでいく。

顕微鏡の視野のなかで行う、微妙で根気のいる仕事であった。五個のLSIに、他の部品をつないで電卓が完成した。

ロックウェル社がつくったLSIが二〇〇万個であった。それらが四〇万台の電卓に組み込まれていく。シャープがロックウェルに払った代金が一〇八億円、チップ一個あたり五四〇〇円、一台の電卓に使ったチップが五個だから合計で二万七〇〇〇円となる。それが九万九八〇〇円の電卓となって市場を独占した。

写真BはQT-8Dを宣伝したテレビコマーシャルの一こまである。QT-8Dの映像に、「アポロが生んだ電子技術、生まれました電子ソロバン」とナレーションがかぶる。続いてオフィスレディ、建設現場の監督、問屋さんの番頭などがQT-8Dを軽快に使っている場面が続く。最後に新入社員とお

A　ウエハーを加工する工場

DO CLUB CAMPAIGN TO BEGIN NEXT WEEK

AUTONETICS Skywriter

Autonetics, Hayakawa Company Sign $30,000,000 Contract

Order Largest in History for Advanced MOS/LSI Circuits

Play Auditions To Be Held

Navan Reports Novel Diamond Wheel Technique

APOLLO 9 COMMAND MODULE ON DISPLAY

Employees Urged To Re-Evaluate Weekly Contributions to DO Club

Rockwell Announces Electronics Sales Growth Goal of 15 Percent a Year

Apollo 7 Crew Receives AIAA's Haley Award

C　ノースアメリカン・ロックウェル社の社内紙

B　ＱＴ－８Ｄのテレビコマーシャル「君は遅れていないか？」

ぼしき青年がオフィスに駆け込んで来たところで、ナレーション。「君は遅れていないか?」と視聴者に語りかけ、青年はポケットからQT-8Dを窮屈そうに出して見せる。

アポロ一一号で使った技術が電卓に革命をもたらした。その結実した姿が、マイクロコンペットQT-8Dだ。それを知らないと、君は時代に取り残されるぞ。これがコマーシャルフィルムのメッセージであった。QT-8Dは爆発的に売れ、莫大な利潤をシャープが手にできたのは言うまでもない。

写真Cは、同じ時期に発行されたノースアメリカン・ロックウェル社の社内紙。一九六九年(昭和四四年)三月二一日号である。一面に大きな見出し「オートネティックスは早川電機と三〇〇〇万ドルの契約に調印」が躍っている。オートネティックスというのは、ノースアメリカン・ロックウェル社の電子機器部門であった。

記事はまず、三〇〇〇万ドルという金額が、オートネティックスにとっては会社設立以来空前の受注額であることを伝えていた。そのあとで「早川電機が当社に持ち込んだ電卓はMOSのMSI(中規模集積回路)を予定していた。その数はLSIに比較して四倍も多く使うことになっていた。それをわが社の技術がLSIにしてQT-8Dが完成したのである」と得意気に報じ、「五年後の一九七四年までには業績も総売上三億ドルに急成長を遂げるものと思われる」と予想。空前の契約高が会社の業績を飛躍的に向上させたばかりでなく、電卓の発達に従ってオートネティックスの業績も急伸すると予想しているのである。

ロックウェル社が電卓用のLSIを製造して、莫大な利潤を手にしたことは、たちまち全米の半導体メーカーに知れ渡った。彼らは初めて日本で繰り広げられていた電卓の開発競争を知り、大衆商品がいかに莫大な利益をもたらすかということに気づくのである。

一方、日本国内でも、シャープ電卓に市場を席巻された電卓メーカーは一斉にアメリカの半導体メーカーに殺到した。QT-8Dと同じような電卓用のMOS・LSIを製造してくれる会社を探し求めたのである。

佐々木 私が昭和四三年（一九六八年）に、MOS・ICの設計製造をやってほしいとアメリカ中のICメーカーを訪ね歩いたとき、いちばん期待していた会社の一つがテキサス・インスツルメンツ（TI）社だったんです。初めはロックウェルはあんまり期待してなかったですよ。まずは当時最も有名なフェアチャイルド社、次にテキサス州ダラスのTI社を口説き落とそうと考えていたんです。フェアチャイルド社からは相手にされず、東海岸のいろいろな会社にも断られ、頼みの綱はTIだと思ってダラスに乗り込んだんです。ところがTIからは大変歓迎されましてね。こりゃ脈があるなと思っていたら、最後に「お断りせざるえない」でしょ。がっかりしましてね。

――何が折り合わなかったんですか？

佐々木 価格ですよ。こちらの提示価格が彼らが考えていたものより、はるかに低かったんですね。しかし発注量が莫大なんですから、生産が軌道に乗ればすぐに原価が下がるんですから、決して無謀な値段じゃない。しかし彼らは日本流の薄利多売の精神がなくて、最後には断ってきよったんですわ。

――なるほど。

佐々木 ところがQT-8Dの爆発的な大ヒットで、ロックウェル社も莫大な利潤に潤ったんですなあ。そこで、日本の電卓メーカーは浮き足だってアメリカに殺到する。一方アメリカで

も電卓は物すごい儲けになるというので、ICメーカーが日本の電卓メーカーを探し求めた。

――なるほど。

佐々木　TI社などわれわれを一度断っておきながら、儲かるとわかってから、注文とりにやってきた。

――でも、それはアフター・フェスティバルですね。

佐々木　何ですか、それは？

――はい「後の祭り」です。

佐々木　なるほど、後の祭りか、そうです。時すでに遅しでした。われわれとロックウェル社の契約は独占契約でしたから。そこでTIは同じ足でキヤノンさんに駆け込んだんですな。それで「TI社にはロックウェルに勝るとも劣らない電卓がありますよ」と売り込んだ。それにキヤノンさんが乗ったんですな。

■サンフランシスコ空港で〝入札〟

TI社がキヤノンに売った電卓は、一九六七年（昭和四二年）に試作したハンディー電卓のICをMOS化したものであったと、設計者のジェリー・メリマンさんが証言する。キヤノン製のハンディー電卓「ポケトロニック」の実物は、二〇六ページの写真を見てほしい。表示装置がなく、計算結果は紙テープに印字されるのが特徴であった。それは一九六七年に完成した試作機の特徴とまったく同じ

である。

メリマン　試作機をつくって一年もたたない一九六八年(昭和四三年)、日本のキヤノン社がこの試作電卓を製品化したいと言ってきました。私が思うには、これが初めての商業用の携帯計算機だったと思います。

——なるほど。

メリマン　これが一九七〇年にキヤノンが製造販売した電卓ですが、私のつくった試作電卓とは見かけ上ずいぶん違っていますが、機能はまったく同じものです。ただ試作機に使ったICがバイポーラトランジスタを集積したものだったのに対して、キヤノン製ではMOSトランジスタを集積したICを使ってあります。キーボードなどの回路は一九六七年試作の計算機と同じものです。プリンターの感熱紙を押し出す機構が、電磁石型からゴムローラーとキャプスタンで送る方式に変わっています。

——MOS・ICはTI製ですか?

メリマン　そうです。私たちがMOS回路にデザインし直しました。ただ当時は、まだMOSはあまり安定性のあるものではありませんでした。

——つまり、TIがキヤノンのためにMOS・LSIを使う回路に一部設計しなおしたというわけですね?

メリマン　ええ。実際キヤノンからエンジニアの方がこちらに見えまして、何か月か私たちのエンジニアとともに仕事をしたわけです。回路修正やメカニックな仕事をしていたと思います。少なくともMOS・LSIは、TIが設計製造をしたものです。

ジェリー・メリマンさんはキヤノンが買いに来たと言い、佐々木さんはTIがキヤノンに売り込んだという。どちらにしても当時の事情を考えれば、両者とも急を要する話であったに違いない。それほどQT-8Dの衝撃波は日米両国に広く伝わっていったのである。樫尾製作所（現在のカシオ計算機）も、電卓の回路をMOS・LSIにしてもらうためにアメリカの半導体会社を探した。

現在カシオ計算機の専務取締役である志村則彰さんは、当時を次のように回想する。

志村　あの頃はわが社もアメリカに飛びましたよ。そうしないと負けますからね。日本じゃできないんですから、MOS・LSIがね。ですから、一時期なんか私がサンフランシスコの空港に降りますと、アメリカのLSIメーカーが一〇社並んで待ってましたからね。

――空港に一〇社ですか？

志村　そう。サンフランシスコの空港に私が降りるわけ。すると一〇社が並んで私を待ってるんです。

――半導体メーカーが？

志村　そうですよ。それで三〇分ずつ、日本から持っていった図面を見せ歩いた。

――いつ頃の話ですか？

志村　昭和四五、四六年（一九七〇、七一年）です。三〇分ずつ図面を見せて「さあ、これをいくらで引き受けるか」ですよ。

――まるで空港のロビーで、入札やってるみたいなもんですね。

志村　そういう時代もありました。しかし、これは長くは続きませんでした。僕は間もなくアメリカを見限ったというのはおかしいですけども、カスタムLSI（特注LSI）は近いとこ

とやらなきゃ満足なものができないことに気がついた。それで、国内メーカーを説得したんです。「そろそろ日立さんもやるべきだ」とか、「日本電気さんも今やできるじゃないですか。やりましょうよ」とね。

──アジテーションしたわけですね。

志村　もちろん、われわれも図面を持ってアメリカに行き、何回かつくってもらいましたよ。ところが、半導体技術は日進月歩ですから、いちいち契約してつくってたのでは、いいカスタムはできないんですよ。一回一回契約しているうちに、どんどん技術が進んでいっちゃうんですね。第一、太平洋を挟んでいては、ユーザーとメーカーが一緒に考え一緒に開発するなんてまったくできない。ところが日本の得意芸は、ユーザーとメーカーが一心同体でやれることなんですね。これができない。これじゃアメリカとやってたら、いいカスタムはできない。早く国内でつくらなきゃ駄目なんだと思いましてね。私は日本電気さんや日立さんに行きまして、「カスタムというのは近いところでエンジニア同士がぴったりやらなきゃいけないと。これはもう一メートルでも近いところがいいんだ」と説いたんです。

──羽村と小平じゃ、近いですもんね。

志村　ええ。やっぱり何かあったときに、遠くにいたんじゃ駄目なんですね。小平だったら二〇分で、日立のエンジニアが飛んで来る。太平洋は広いですからね。

──そういう要素があるんですね。

志村　ええ。そういう意味では、関西のメーカーさんよりは、うちのほうがMOS・LSIの国

産化には貢献してると思っているんです。

――主に日立と日本電気ですか。

志村　そうです。

余談になるが、この話を私は大変重要だと考えた。中巻でシリコンバレーの地図や企業の相関図を掲載したが、その大きな理由が今の話と関連していた。集積回路というのは技術の集積であり、それをもつ企業が地理的に近距離に集積していることが最も効率的である。だからこそ企業集積地域としてシリコンバレーが発達を遂げたのであろうと考えたのである。また、そうした観点からすれば日本列島全体が企業集積に恰好な地理的条件を備えているといえるのかもしれないのである。

■半導体メーカーの窮地脱出

さて、本題に戻ろう。日本の半導体メーカーにとって電卓産業は、膨大な半導体を使ってくれる最大の得意先であった。合金型トランジスタからシリコンのメサ型トランジスタに、プレーナ型トランジスタからバイポーラICに、それをさらにMOS・ICへと電卓メーカーは半導体メーカーに次々と技術革新を要請し、その代わり大量の需要を提供してきた。

それがMOSのLSI化に至って、半導体メーカーは電卓メーカー側の要請に応じなかった。MOSの不安定性を克服する自信がなかったのと、MOS・LSIがこれほど大量に使われることになるとは考えなかったのである。それがQT-8Dの成功で、電卓メーカーは一斉に注文をアメリカの半導体メーカーにシフトした。生存競争に勝つためにはやむを得ない行動ではあったが、そのために日本

図34　日本のIC需要に占める輸入金額の割合

（億円）

	昭和43年	44年	45年	46年	47年	48年	49年
総需要額	146	288	682	674	754	1278	1861
輸入額	29%	27%	30%	36%	22%	26%	36%

国内の半導体メーカーは電卓メーカーからの注文がばったりと途絶え、窮地に陥った。

図34は、ある企業のマーケッティング部門が当時つくった極秘資料である。各年のIC需要と、そのなかで輸入ICが占める割合を図示した棒グラフである。昭和四三年からICの需要が急増し、その三〇パーセント前後を常に輸入したことがわかる。

当時、日本電気は九州にMOS・LSIの工場を建設したばかりであった。長船廣衛さんは、九州日本電気の技術面をも統括する半導体事業部の技術部長であった。

長船　やっとのことでMOSの安定化に*めど*がついたんで、九州日電の工場を建てたんですよ。そしたらシャープの佐々木さんが、「アメリカのLSIを輸入するから要らん」だって。それで僕はえらい苦労をしましたよ。一〇〇〇人からの女の子を抱えて、工場が遊んじゃうんですよ。

——どうしたんですか？

長船　しかたがないから、ガラスでも磨けと言ったら、翌日「ガラスは全部きれいになりました。次は何しましょう」でしょう。しかたがないから「構内の草でも抜いていろ」と言ったら、二～三日したら「構内の草は一本もなくなりました」。これじゃ駄目だと思って、女子工員

九州日本電気の工場

さんたちを集めて、こちらから技術屋を派遣して、ＩＣの理論と実際という講義をさせたんです。

――工場で？

長船　そう。一〇〇〇人の女子従業員に毎日毎日研修したんです。半年間もね。

――注文が来るまでお勉強ですか。

長船　ええ。そのうち注文が来るようになって生産を再開したんですが、参りました。

日本電気のＭＯＳ・ＬＳＩは、シャープに代わってカシオ計算機が大量に使ってくれて窮地を脱したが、他の半導体メーカーの中には甚大な被害を受けたところが少なくなかった。そうしたメーカーのなかから、「シャープの佐々木正は貴重な外貨を浪費する国賊」という声が上がってきた。

佐々木　まったく私は日本の半導体メーカーから恨まれましてねえ。私のこと

を国賊だといんうですよ。

——国賊とは、ただ事じゃありませんね。

佐々木　最初ロックウェルの発注した額が、サーティ・ミリオン・ダラーでしょう。三〇〇〇万ドルの仕事でしょう。電卓というのはすごい額の注文をするんですよ、大量に使いますからね、LSIを。一ドル三六〇円の時代ですから。貴重な外貨が海外に出ていくのは佐々木のせいだ。だから佐々木は、ドル浪費の元凶で国賊だと言うんですね。

——そう言いたくなる気持ちもわかりますねえ、注文がアメリカに流れていっちゃったんだから。

佐々木　私はわかりませんね。半導体メーカーをここまで引っ張ってきたのは私ですよ。自分たちがここまで引っ張ってもらった恩は忘れて、言うに事欠いて国賊とは何ですか。そこまで言われては、私も腹の虫がおさまりませんから、通産省に言ったんですよ。人を国賊呼ばわりとは何ということを言うのか。私をそう呼ぶ人と対決させろ、と通産省にネジこんだんです。そしたら当時半導体を輸入していたところは、日本ビジコンをはじめ沢山ありましたから、われわれも同席しようという話になりましてね。

——ははあ、いよいよ世紀の対決ですね。

佐々木　通産省が相手に連絡してくれまして、通産省の会議室で対決する算段をしてくれたんですが、相手は逃げて来ませんでした。私たち電卓メーカー側は、通産省の部屋で待っていたんですが。急用ができてこれなくなったなんて言ってきて、私たちをスッポかした。電卓メーカーの代表が全員で待っているのに、急用ができたからって。失礼だって。

——なんだ、佐々木さんの一人相撲ですか、がっかり。

佐々木　でも、その人は結局悲惨なことになりましたからいいんですよ。

——天罰でも下りましたか？

佐々木　言えません。武士の情けです。えへへへへ。

佐々木正さんのオフィスに今でも飾ってある、写真のような額がある。額の中心には、ノースアメリカン・ロックウェル社の経営陣から贈られた漫画「ロケット・佐々木」である。ロックウェル社得意のミニットマン・ロケットに、佐々木さんが跨って上昇を続けていた。ロックウェルの経営者が佐々木正さんにつけたあだ名がミスター・ロケット。先へ先へとやることが早すぎて、さすがのロケット関連会社も追いつけないという意味なんだそうである。変わり身の早いアメリカの経営者すらも、佐々木さんの先取り戦略には辟易したようである。

ノースアメリカン・ロックウェル社から佐々木さんに贈られた漫画

佐々木　私は、電卓のサイクルは二年間だよ、二年間で技術がどんどん更新していくんだから、二年ごとに工場を新設して新しい技術を入れるんだと、社内でもそういう方針を貫いてきたんです。はじめは社内でもそんな馬

鹿なと言われましたが、現実にはその通りに進んだ。しかし半導体メーカーはそうはいかない。電卓の普及で大量の半導体を使ってくれるのはありがたいが、ようやく儲かりはじめると佐々木が壊しに来るっていうわけですな。それで総スカンを食らいましてねえ。

――そうでしょうね。

佐々木　でもね、企業を経営する立場でいちばん警戒しなければいけないことはね、儲かっているときにはなかなか新しいことをやりたくないいんですよ。しかしね、儲かっているときこそ次の時代を支配する新しい技術に挑戦しなければいけない。これが経営なんですね、わたしに言わせれば。

――だから？

佐々木　だから、新しい技術を要請した。彼らがそれに挑戦しなかったのに、外国に注文を出したからといって、国賊呼ばわりされたのは、誠に心外。残念至極の一語でした。

ＭＯＳデバイスの不安定性に警告を発した学者に対する激しい憎悪。逆上した半導体メーカーの経営者と対決も辞さない行動。そうかと思うと、最後の土壇場で窮地を救ってくれたアイストン社長に対する厚情。アメリカ・シャープの社長に迎えたり、シャープの電卓が更新されるたびにそれを墓に供える情(じょう)の深さ。佐々木正さんは、激しい攻撃的な性格と情の深さを兼ね備えておられるようである。しかし彼の個性抜きには、日本の電卓産業も半導体産業も違ったものになっていたかもしれない。

電卓戦争の勝者と敗者

ワンチップ駆動の電卓

昭和三五年に英国からアニタ・マーク8を輸入して機械計算機の電子化にヒントを与えたのが、日本計算器の小島義雄社長であった。彼はその後、昭和四一年に超小型コアメモリーを採用した高性能電卓「ビジコン161」を驚異的な価格で売り出して、電卓業界に衝撃を与えた。事務機工業会と通産省が新製品の発表を中止するように要請したが、意に介さず発売を強行したのも、小島さんであった。

日本計算器は昭和四五年に「ビジコン」社に社名変更した。このビジコン社が昭和四六年(一九七一年)一月に再び衝撃的な電卓を売り出した。「ビジコンLE-120A」である。一二桁の加減乗除の計算可能。電池駆動の完全ポケットサイズ。発光ダイオードによる表示装置。最大の特徴がワンチップ駆動の電卓ということであった。たった一個のMOS・LSIの中に入力、記憶、演算、表示の各回路がすべて組み込まれた。ワンチップ電卓の登場であった。

小島　昭和四五年、六年頃のことですが、ポケットベルが実用化されていまして、人々があれをワイシャツの胸ポケットに入れて持ち歩くようになりました。電子装置がワイシャツのポケットに入った最初じゃないでしょうか。だから私は、ポケットベルの大きさと重さであれば、皆さんワイシャツのポケットに入れて持ち歩くことに抵抗はないと考えたわけです。ですから最大でも一二〇ミリ×六〇ミリ×二〇ミリで、厚さが二センチ以内であれば、パーソナル電卓として売れると考えました。

——なるほど。

小島　その大きさにするには、LSIにする以外にない。それで、LSIでは日本よりはるかに進んでいたアメリカのICメーカーについて、情報を収集することにしました。調査をジェームス・今井氏に依頼しました。

――それは？

小島　私の友人ですが、彼の勤めていた会社がフィルコ・フォード社に買収されたものですから、社長のファーガソン氏と一緒に、彼はメントールというコンサルタント会社を設立したばかりでした。そこで私はジェームス・今井氏に相当な調査料を払って、アメリカのICメーカーの技術調査と信用調査を依頼したのです。それぞれの会社にはどのような人物がどんな技術と取り組んでいて、そのバックグラウンドは何か、またそのテクノロジーの特異性は何かなど、徹底的に詳細に調査して欲しいとお願いしました。

――なるほど。

ジェームス・今井さんの報告書は、A四判・二三〇ページに及ぶ詳細なものであった。全米一七社のアメリカのLSIメーカーについて、厳密な技術評価を伝えている。その報告書がランクAで推薦していた企業が、インテル社とモステック社であった。インテル社はフェアチャイルド社を退社したロバート・ノイスと彼の腹心たちが、新しく設立したばかりの新興企業であり、モステック社はテキサス・インスツルメンツ社のMOS製品セクションの若者たちが、スピンアウトして設立したばかりの会社であった。

小島さんは、この二つの会社にそれぞれ電卓用のLSIを発注することにした。ワンチップ電卓用のMOS・LSI化をモステック社と、プログラム電卓のMOS・LSI化をインテル社と、それぞ

れ設計製造契約を結ぶのである。

ビジコン社の注文でプログラム電卓用のMOS・LSIを開発することになったインテル社は、その過程でマイクロプロセッサーを生み出すのだが、それは次巻（完結巻）で詳述することにする。ここではモステック社が製造した、ワンチップのMOS・LSIが電卓業界に与えた衝撃について触れることにしよう。

小島　ジェームス・今井さんが前にいた会社を乗っ取ったフィルコ・フォード社は、実は世界で最初にMOS・ICに着手した会社でした。フィルコ・フォードがビクター・コンプトメーターという計算機会社のために、MOS・ICをつくって売ったんです。そんな関係もあって、今井氏もMOSには大変関心をおもちでして、彼の調査もMOS技術について、特に念入りな調査をしてくれました。

――モステックというのは？

小島　モステックというのは、テキサス・インスツルメンツ（TI）社のMOSテクノロジー・ディビジョンからスピンアウトした一四人の若者たちがつくった会社でした。当時TIはMOS・LSIの開発には、あまり積極的でなかった。ちょうどそんなときに、TIの本社工場がダラスからヒューーストンに移転するという話が起きていました。ところが若者たちはヒューーストンに行きたくなかった。そこで若者たちは、さっさと飛び出して、MOS・LSIの設計製造を専門にする会社を設立したというわけでした。今井さんの強い推薦で私は、モステック社にLSIをつくってもらうことにしたのです。

――今井さんの推薦根拠は？

小島　最大の根拠は、彼らがイオン注入法という最新技術を採用し大きな成果を挙げているという点でした。ＭＯＳ・ＬＳＩのプロセスのなかで、大変重要で、画期的なテクノロジーでした。

――ダグラスまでおいでになったのですか？

小島　ええ。リーダーはミスター・セブンという人物でした。二〇代の若者たちは、彼のことをダディ、ダディと呼んでおりましたが、彼を中心にモステック社は鬱勃たるエネルギーに満ちておりました。まさにアメリカの典型的ベンチャー集団でした。一四人の若者たちが、ダディの指揮のもとに電卓回路をＭＯＳ型のワンチップＬＳＩにしようと熱中して、着手してからわずか六か月で実現してしまったのです。

――電卓の回路はどうなさったんですか？

小島　私どもの商品のなかで、すでにヒット商品になっていました「ビジコン１２０」という計算機のロジックをそのまま持っていきまして、その回路を完全なワンチップのＬＳＩにしてもらったのです。

――ワンチップのＬＳＩで、電卓ができたというのは、それが初めてですか。

小島　世界で初めてです。しかも、それだけじゃありません。この電卓には三つのイノベーションがございます。第一がワンチップのＬＳＩ。第二が発光ダイオードのディスプレー。これはすぐに液晶に変えました。第三が単三電池による駆動でした。

にわか電卓メーカーの乱立

ビジコン社製ポケット電卓「てのひらこんぴゅーたーLE-120A」は、昭和四六年五月に東京国際貿易センターで開かれた第四二回ビジネスショーでお客の人気を独占した。電卓から電源コードの尻尾が取れたばかりでなく、ワイシャツの胸ポケットに収まるサイズであったからである。

写真Aは、ビジコン電卓のコーナーに詰めかけた人たちである。そのほとんどが学生とサラリーマンである。写真Bが、モデル嬢が持つポケット電卓LE-120A。背後のパネルは、それがワイシャツの胸ポケットに収まるところを強調している。そして写真Cが、LE-120Aを駆動する頭脳部分。モステック(MOSTEK)製のLSIチップであった。

しかし、この電卓は大評判にはなったが、爆発的に売れたわけではない。八万九八〇〇円という値段は、サラリーマンや学生にとってはまだ高嶺の花であったからである。昭和四六年当時の大学卒の初任給が、四万六五〇〇円(リクルート確定初任給調査より)の時代である。

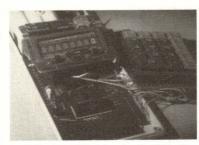
ビジコン社製の電卓が、市場の動向に大きな影響を与えずにはおかなかった。この電卓が登場したことで、電卓をめぐる技術競争の目標が「電池駆動のポケットサイズ」に絞られていく。また入力、演算、記憶、表示を司る回路をすべて、たった一個のLSIに集積してみせたことで、「ワンチップ電卓」が技術の主流になり、これが電卓業界を激しく変えていくのである。

写真Eは、同じ年に登場した別のワンチップ電卓。日本のOEM(委託製造)専門メーカーの信和デイジタル社が製造したアメリカのビクター・コンプトメーター社の電卓である。サイズはビジコン製のポケット電卓には及びもつかない片手サイズであったが、電池駆動でありながら価格はビジコン製

C　ＭＯＳ・ＬＳＩ（モステック製）

A　第42回ビジネスショー(昭和46年５月)。ビジコン社製ポケット電卓「てのひらこんぴゅーたーＬＥ-120Ａ」のコーナー

D　「てのひらこんぴゅーたーＬＥ-120Ａ」の宣伝パンフレット

B　ポケット電卓ＬＥ-120Ａを持つモデルの背後に、胸ポケットに収まる電卓が目をひく

F　電卓の４つの部分。キーボード、電池、表示装置、そしてＬＳＩ

G　テキサス・インスツルメンツ社製の電卓ＴＭＳ－1050のワンチップＬＳＩ

E　信和ディジタル社がＤＥＭで製造した米ビクター・コンプトメーター社の電卓

の半値に近かった。

写真Ｆでわかる通り、電卓はたった四つの部品からできている。まず、ケースと電池に、キーボード。それにつながる蛍光表示管。あとは多少のビニール線と、たった一個のＬＳＩ。

写真Ｇが、ＴＩ社製ＴＭＳ－１０５０。八桁の四則演算と入力、記憶、表示をこれが制御している。あとは、これにキーボードと表示装置をつなぐだけで電卓になった。チップさえ買えばだれでも電卓が製造できた。このチップの登場で、にわか電卓メーカーが乱立したのである。

マイコンの誕生については次巻（完結巻）で詳しく紹介するが、ＴＩ社のワンチップ電卓用のＬＳＩは、マイクロコンピューター、マイコンであった。それは大ざっぱにいうと、三つの部分からできている。信号処理をする中央演算装置、メモ代わりの一時記憶装置、全体を機能装置として働かせるためのプログラムを格納しておく固定記憶装置であるが、この固定記憶装置

に電卓用のソフトを組み込んで売り出したものが、ワンチップ電卓用のLSI「TMS-1000」のシリーズであった。

当時日本TI社の販売担当マネージャーであった長江幸昭さん（現在社長）は、その爆発的な売れ行きを次のように回想している。

長江 私ども日本TIはスタートのときから電卓の業界とは切っても切れない強いつながりがございまして、電卓戦争のおかげで日本TIがここまで成長できたと実は言えるんですね。

――そうですか。

長江 日本TIは一九六八年（昭和四三年）に埼玉県鳩ヶ谷に工場を建設してスタートを切ったのですが、最初の事業がDTL（ダイオード・トランジスタ・ロジック）、つまりダイオードとトランジスタを集積回路にした論理素子の組立てから始めたんですね。それも電卓用でした。次に手がけたのがこのチップの販売でした。一九七一年（昭和四六年）のことです。

――最盛期で、どのくらい売ったのですか？

長江 おそらく月に三〇万個は間違いなく出ました。

――三〇万個！

長江 ええ、ピークで。一九七一年（昭和四六年）当時、スタート当初でお客様と成立した契約が五万個でしたが、またたく間に一〇万、二〇万、三〇万と増えまして。やがて一九七三年（昭和四八年）には鳩ヶ谷工場で量産をするようになりました。

――それはチップが五万個という意味ですか。

長江 ええ。お得意さまの数で七社……、でしたかね。

チップそのものは、一九七〇年にＴＩのゲーリー・ブーンとマイケル・コクランが開発した。一九七一年に電卓のソフトを搭載して「ＴＭＳ-１０００」シリーズとして販売を開始。その後テレビのリモコン、電子レンジ、冷蔵庫、洗濯機など家電製品のコントローラーとして多く使われた。マイクロプロセッサー部分だけを単体で発売したのが一九七三年、インテルの開発したマイクロプロセッサー「４００４」登場の後であった。

一九六八年（昭和四三年）に日本進出を果たしたＴＩ社は、このチップを大量に注文をとって売りまくった。日本の顧客のスペックに合わせて、インプットするプログラムを変えたり、一時記憶装置や固定記憶装置の容量を増やしたりするなど、顧客の要望に柔軟に応じたのである。したがって同じチップを使っても、電卓メーカーのスペック次第で、違う機能をもった商品に仕立て上げることができたのである。

――このチップの登場で、電卓メーカーが急増したといったことはあったんでしょうか？

長江　自社ブランドをもたないＯＥＭ（委託製造）専業のメーカーさんを含めれば、その通りだったと思います。なにしろ電卓専業メーカーさんでなくても、ちょっとした設備で簡単に電卓がつくれるようになったわけですから。ただ販売のチャンネルがなければ売れませんから、結局海外の販売会社とＯＥＭ契約をしてつくったんです。

――なるほど。

長江　例えばアメリカのビクター・コンプトメーター社の電卓などは、「ＴＭ１０００」を使って製造したものですが、今ではどこにもないと思うのですが、皆さんがおいでになるというので探しておいたものです。今でも動くんですよ。

——へえ、これがワンチップ電卓ですか。

長江　実はこれをつくられたのは信和ディジタルさんですが、最初あちらからお話がありまして、「ぜひいろいろ検討してみたいんだ」と。ところが私どもがいろいろ本で調べても、会社の名前が載ってないわけですね。それで住所を聞いてお邪魔したんですが、行った先にはどうも会社らしい建物がない。探して探してやっとたどり着いたところが、まあ四畳半と言っては失礼ですけども、本当に小さなところでした。

——どこでしたか？

長江　東大宮の住宅地でしたですね。

——普通の？

長江　ええ。普通の住宅でしたね。長屋とは言いませんけど、いわゆる都だとか区がやってる木造平屋。昔でいう都営住宅のような家。何か二軒つながったような。それで後ろにプレハブのような小さなオフィスがあって。

——従業員何人ぐらいでした？

長江　一四人から一五人もいたでしょうかねえ。

——それが納屋（なや）みたいなところで？

長江　ええ。ところが、その納屋が二年後

「ＴＭＳ－1000」を搭載した電卓を前にした長江昭幸氏

台湾の電卓メーカーでもテキサス・インスツルメンツ社製のチップを使って電卓が生産されていた

に行ってみると、本社ビルだとか言って五階建てのモダンなビルになっていました。いやー、びっくりしたのなんの。大きな会社に成長していました。

——たった二年で。

長江　すごいビルを建てて、中にはコイが泳いでましてね。

——コイが……?

長江　鯉。泳ぐ鯉、緋鯉が。池がありましてね、応接室に(笑)。

——えっ、応接室に池があって緋鯉が泳いでいた?

長江　はい。ですから、皆さんがわが社のワンチップ電卓で結構利益を上げられたんでしょうね。

——正確にはいつ頃のことですか?

長江　私どもの工場がこのウエハー・プロセスまでやり始めたのが一九七三年

（昭和四八年）でしたから、一九七三年にはまだピークに行ってないはずですから、たぶん翌年の一九七四年（昭和四九年）だったと思います。その頃が、お得意様の絶頂期でした。

——その後はどうなりました？

長江　いろんなOEMの仕事をされて。その後、私の知ってる範囲では、オリベッティさんのいろんなOA関連、こういったお仕事をされて、その後リコーさんの仕事をするようになったと。

——最後はどうなったんですか。

長江　リコーさんに買収されたと聞いております。

TMS-1000のチップが売られたのは、日本ばかりではない。韓国、台湾、東南アジアなど広範な地域に売られたのである。前ページの写真は台湾の電卓メーカーの生産風景である。チップとキーボードと表示装置を線でつなぎ、ケースに組み込むだけで電卓が完成するので、作業員の労賃が安いほうがコストの上では有利であった。

——TMS-1000は、チップ一個をいくらで電卓メーカーに売っていたんですか？

長江　サンプルで七〇〇〇円、量産で五〇〇〇円でお使いいただきました。

——それで電卓メーカーが、TIさんからチップ一個五〇〇〇円で買うとしますね。それでできた電卓の値段がいくらだったのですか？

長江　売値で四～五万だったんじゃないかと思いますね。

——で、コストは？

長江　三万いくかいかないか。このチップが出る前は、電卓というのはもちろんディスクリート

（単体トランジスタ）の時代は十数万でしたしね。それから、いわゆるDTLをICにしたものを使った時代で、電卓というのは一桁一万円ぐらいと言われていましたから。一二桁で一二万円ですか。当時は八桁なんてありませんでしたから。八桁というのは、われわれがこのチップを出してからポピュラーになっていったわけですから。それまでは最低で、一〇桁で値段が一〇万円。それがわが社の「TMS-1000」で、電卓が一気に半値に下がってしまったんですね。ですからワンチップ電卓用のLSIが、〝電卓戦争〟に与えた影響は非常に大きかったと思いますね。

電卓開発競争の質が変わった

昭和四六年当時、電卓メーカーが日本に何社あったのだろうか。表Aと表B（三三一～三三三ページ）は日本事務機械年鑑一九七一年版と一九七二年版に記載されていた電卓メーカーの名前と商品を抜き出して一覧表にしたものである。左の欄がブランド名で、その右隣が機種数、いちばん右の欄が製造元と販売元である。表Aは昭和四五年の商品群であり、表Bは昭和四六年の商品群である。

昭和四五年の表Aについてみると、ブランド数が全部で三〇。一七九機種。製造メーカーが二八社ある。網かけになっている枠に記載された二つのブランドと製造三社が翌年のリストに載っていない会社である。昭和四六年の表Bについてみると、ブランド数が全部で三六、二一〇機種、三三メーカーに増えている。網かけになっている枠に記載されている八つのブランド、二三機種、八メーカーが四五年から四六年にかけて増えている。一年で三つのメーカーが消え八つのメーカーが誕生したこと

になる。

しかも、この表にはOEM専業のメーカーは載っていない。たとえば応接間に錦鯉が泳いでいたという大宮の電卓メーカーの名前はこの表にはない。当時どれだけのOEMメーカーがあったのか今となっては不明であるが、OEM専業メーカーを加えれば全部で五〇社を超えたのではないかと関係者は言う。表Aから消えた東京電子応用研究所も商品名「ティール」のブランドで売りながら、OEMで電卓を製造していた会社の一つであった。当時社長だったのが小平均さん（現在五八歳）である。

小平　TI社のワンチップLSIは、電卓戦争では欠かすことのできない有名なチップです。最初のうちはTIは自分でも電卓をつくって世界中のスーパーマーケットとか、安い量販店で大量に売り出したんです。

――テキサス製の電卓をですか？

小平　ええ、弁当箱ほどの大きさの電卓でしたがね。やがて電卓を売るよりもチップを売ったほうが儲かることに気がついた。実に抜け目のない会社ですね、TIという会社は。これが電卓戦争の行方に決定的な影響を与えたんですね。

――なるほど。

小平　TIチップが発売されるようになったのが昭和四九年頃でしたが、このチップの登場で、それまでは電卓もつくったこともなかったような小さなメーカーが五社も一〇社もできました。文字通りの四畳半メーカーが、雨後の筍のようにできては次々と市場に参入して来ました。そ

小平均氏

表A 1970(昭和45)年　電子計算機市場一覧

(1971年版　日本事務機械年鑑より)

■全30ブランド
■計179機種
■全28メーカー

製品名		機種	製造元／販売元
シャープコンペット		22	シャープ　東京、名古屋、大阪、中国、九州 各シャープ事務機販売／クスダ事務機／兼松事務機
ビジコン		16	日本計算器　ビジコン
トスカル		16	東京芝浦電気　東芝ビジネスマシン
ポケトロニク		1	キャノン　キャノン事務機販売
キャノーラ		12	
カシオ		12	カシオ計算機　カシオ計算機
エルカ		9	日立製作所　プラス
リコマック		9	リコー　リコー
サコム		7	三洋電機　日本事務器ほか
オムロン		6	立石電機　武蔵／文祥堂
セイコー		5	精工舎　服部時計店
ソパックス		5	ソニー　ソニービジネスマシン
パロース		5	パロース　高千穂交易
リコーモンロ		5	モンロ　リコー
コクヨ		4	シャープ　コクヨ
ディール		4	ディール　丸紅エレクトロニクス
GENERAL		3	ゼネラル　東京ゼネラル事務機／文祥堂／三和プレシーザ
NCR		3	NCR　日本NCR
オリベッティ		3	オリベッティ　日本オリベッティ
ビクター		3	ビクター　ビクター計算機
モンロー		3	モンロー　丸善
レミントン		3	スペリランド　日本レミントン
ユニトレックス		3	栄光BM　ユニトレックスセールス
タイガー		2	日本通信工業　タイガー計算器販売
シチズン		2	シチズン事務機
オリンピア		2	オリンピア　クスダ事務機
フジマックス		1	不二商事機器　不二商事務器
パナック		2	松下通信工業　松下電子事務器
消えたブランド	コルカ	7	日本コロムビア　福井商事
	キャルサー	3	ブラザー工業　ブラザーミシン販売
	ティール	1	東京電子応用研究所　ビジコン

表B 1971(昭和46)年 電子式計算機市場一覧

(1972年版 日本事務機械年鑑より)

■全36ブランド
■計210機種
■全33メーカー

	製品名	機種	製造元／販売元
	シャープコンペット	34	シャープ 東京、近畿、名古屋、中国、九州、関東、東北、四国 各シャープ事務機販売／兼松事務機／コクヨ他
	東芝トスカル	15	東京芝浦電気 東芝ビジネスマシン
	ビジコン	14	日本計算器 ビジコン
	キャノンポケトロニク	1	キャノン キャノン販売
	キャノンパームトロニク	1	
	キャノーラ	10	
	リコマック	11	リコー リコー
	サコム	9	三洋電機 三洋電機事務機器／日本事務器
	エルカ	9	日立製作所 プラス
	カシオ	9	カシオ計算機 カシオ計算機
	ソパックス	8	ソニー ソニービジネスマシン
	シチズン	7	シチズン事務機
	オムロン	6	立石電機 武蔵／文祥堂／極東ノート
	コクヨ	6	シャープ コクヨ
	ビクター	6	ビクター ビクター計算機
	バロース	5	バロース 高千穂交易
	オリベッティ	5	オリベッティ 日本オリベッティ
	ディール	4	ディール 丸紅エレクトロニクス
	セイコー	4	精工舎 服部時計店
	ゼネラル	3	ゼネラル 東京ゼネラル事務機／文祥堂
	NCR	3	NCR 日本NCR
	モンロー	3	モンロー 丸善
	レミントン	3	スペリランド 日本レミントン
	ユニトレックス	3	栄光BM ユニトレックスセールス
	タイガー	2	日本通信工業 タイガー計算器販売
	オリンピア	2	オリンピア クスダ事務機
	フジマックス	2	不二商事務機 不二商事務機
	パナック	2	松下通信工業 松下電器産業
新規ブランド	シグマ	6	シグマ電子 シグマ電子
新規ブランド	シルバーリード	6	シルバービジネス シルバービジネス
新規ブランド	サンヨー	3	サンヨー ジェー・ビー・エム
新規ブランド	ニスコ	2	日本金銭登録機 日本金銭登録機
新規ブランド	ブブ	2	クラウン ダイエー
新規ブランド	コモドール	2	コモドール コモドール・ジャパン
新規ブランド	ミノルコン	1	ミノルタカメラ ミノルタ事務機
新規ブランド	ヒューレット・パッカード	1	横河ヒューレット・パッカード

れまでは設計技術と製造技術の両方がないと電卓はできませんでしたが、電卓用回路がすべてチップの中につくりこまれたＬＳＩチップがＴＩから発売されるに及んで、多くの四畳半メーカーが出現したのです。

――なるほど。

小平　このときまではとにかく回路技術の良否がものを言ったんですね。シャープやカシオに比べて、私の回路のほうが性能が高くてコストが安いかとか、そういう形の戦いがありましたけど、このＴＩチップで様相が一変していったんです。設計無用の、ひたすら価格だけの戦争になっていくのです。

――小平さんご自身はどんな影響をこうむったんですか？

小平　いやあ、そりゃあテキサス製はものすごいインパクトがありましたよ。なにしろ昨日までウチの下請けをやってた人間が、ある日突然ウチの下請けをやめて、テキサスのＬＳＩで電卓をつくって、競合する客に売るというようなことが出てきましたからね。

――前触れもなく……？

小平　前触れもなく。それはもう影響あったなんてもんじゃなくて、ショックでしたよ。

――青天の霹靂（へきれき）ですね？

小平　そりゃ真っ青ですよ。味方が突然敵に早変わりですからね。もっと大事なことは、このチップの登場で回路設計者としての技術とか腕とかが役に立たなくなったことです。これには参った。技術者としての誇りも、ちっぽけなチップの前に顔色（がんしょく）なしでしたからねえ。

ＴＭＳ-１０００のチップが、電卓産業に与えた衝撃は大きかったことは言うまでもないが、技術そ

れ自体に与えた影響も少なくなかった。電卓をめぐる開発競争の質を大きく変えたと小平さんは言う。
集積度が上がるにつれ、回路設計の妙がそれほどものを言わなくなった。多少回路技術に難があっても、それは集積度を上げることで簡単にカバーできるようになり、回路を工夫することのウエイトが下がってしまった。かつては装置の性能を上げ、価格を下げる唯一の方法が回路を工夫することであった。そのために技術者は必死の努力をし、それができる腕を誇りとしたものが、集積度さえ上げれば比較的簡単に実現できるようになったのである。しかも、かつては膨大な情熱をつぎ込んで生み出した新機軸なら少なくとも数年は市場で生き延びることができた。しかし今や下手をすると、せっかく考案した工夫が世に出る前に陳腐化してしまうおそれさえ出てきたのである。

小平　私は自分でも技術屋としてはましなほうだと思ってましたけれど、この時代になると、あまりの技術的変革の速さについていけなくなりました。それまでは一つの回路を生み出すのにたとえ長時間かけても、成功すれば最低三年や四年はもったんです。ところが、この時代になると、よくもって一年半。

――生み出すのにどれぐらいかかるんですか。

小平　思いついてから具体的な設計に仕上げるまでには、やっぱり丸一年はかかりますからね。それが二年と、もたなくなってしまった。

――そうすると、常に次の技術を想定して取りかからなきゃいけない?

小平　そんな器用なことはできませんよ。ICの進歩がどうなるか見えないんですから。だから、弁証法で「量の拡大が質の変化を呼ぶ」という有名な言葉が出てまいりますが、これぞまさしくICがもたらした現実でした。

——どういうことですか？

小平　回路技術の良し悪しが大きな意味をもたなくなった。効率のいい回路を必死で考えるよりも一個のシリコンに大量のトランジスタを詰め込むことに努力するほうが近道だということになってきた。集積度さえ上げれば、搭載する回路が多少ラフで洗練されていなくても、回路に無駄があっても、全体としては少しも痛痒を感じないということになってしまった。

——かつては？

小平　かつては設計に一か所でも無駄があると、その分だけコストに影響しました。だからこそ、無駄のない洗練された設計をする腕が必要だったんです。

——その腕を振るう必要がなくなった？

小平　一個のＩＣの中に五倍も一〇倍も詰め込むようになると、ときにはその中のすべてを最も効率よく使ってコストを下げなくても、別段ＬＳＩの値段はあんまり変わらない。搭載されたトランジスタの三割が無駄に遊んでいようと、一向に構わない。トランジスタ単体を使っていた時代は、使うトランジスタを節約できれば値段は安くなる。トランジスタを節約できるのは回路設計の善し悪しに左右されましたから、回路設計の技術に意味があった。ところが集積回路時代に入ると、一個のＬＳＩに搭載されているトランジスタをフルに使おうが、七割しか使わなかろうが、全体のコストにほとんど影響しない。回路を洗練するよりＩＣの集積度を上げるほうが、コスト節減と機能の向上に直結する。

——なるほど。

小平　それでＩＣは一〇〇個のゲートが二〇〇個に、三〇〇個、一〇〇〇個、一万個にと猛烈な

東京電子応用研究所製の電卓「ティール」

スピードで集積度が上がっていった。あまりのスピードの速さに、われわれが追いつけなくなってしまった。

電卓戦争最後の敗者

小平均さんは、昭和八年、長野県諏訪に生まれ、昭和三二年、千葉大学工学部電気工学科を卒業。防衛庁向け軍用レーダーの維持管理を業務とする会社を振り出しに、松下電器の系列会社、カシオ計算機などで働いた。

昭和四〇年には松下電送機器で超高速ファクシミリの研究に携わり、科学技術庁の大河内賞を受賞。松下電送機器を退社したあと、翌昭和四一年にはMOSトランジスタとコンデンサーを組み合わせてメモリーに使った電卓を試作。これを電気機械振興協会卓上電子計算機分科会で発表し、大きな反響を巻き起こした。シャープがMOSコンデンサーを使った四相レシオレ

スMOS回路をロックウェル社から学ぶ前のことである。

この業績を買われて小平さんはカシオ計算機に勧誘されしばし在籍したが、間もなく昭和四三年一月に退職。シャープの佐々木正さんから東京電子応用研究所（TEAL社）の役員に誘われたのである。TEAL社は、電気機械振興協会卓上電子計算機分科会の佐々木正会長がタムラ製作所の援助で創立した会社であった。小平さんが考案した電卓を製造販売するのが目的であったという。二年後の昭和四五年に小平さんは代表取締役に昇格し、業績は上昇の一途をたどり、昭和五一年にはTEAL社の年商が一三〇億円を超えた。

前ページの写真が東京電子応用研究所製の電卓「ティール」である。

小平　これは昭和四三年から四四年にかけて私が開発した電卓で、当時は爆発的に売れたベストセラー電卓でした。

――その売れた先はやっぱり……。

小平　当初私どもは回路設計をする設計会社だったものですから、私の開発した電卓回路をいろいろな電卓会社にお売りしていました。倒産しちゃった日本計算器（ビジコン）、システック、上尾電子さんなどが、私の設計した回路を買って電卓をつくっていました。

――このICはバイポーラですか、MOSですか？

小平　完全なMOS・ICです。MOS型チップが一個、二個、三個、四個、五個、六個……と全部で二一個。これでも当時は驚異的にICが少なかった。

――二一個で少なかったんですか。

小平　当時、この機能を満たすには四〇個近く使っていましたから。

——へえーッ、四〇個ですか。それを二一個に減らすことができたというのは？

小平　それはやっぱり回路技術です。私の設計がわりかし巧みなことやったんじゃないでしょうかね。それで電卓の製造コストが非常に安くなり、そのおかげで回路がひっぱりだこで売れたんです。本当に当時のベストセラー回路でした。

——もともとどういうきっかけで、電卓の業界にお入りになったんですか。

小平　昭和三九年頃、私は松下電送というファクシミリの会社の開発技術屋でした。その会社で仕事の片手間に遊びのつもりで設計したのがこの電卓の回路でした。

——何が特徴だったのですか？

小平　コンデンサー・メモリーと言いまして、トランジスタとコンデンサーを組み合わせて安価なメモリーをつくったのが特徴でした。それを電子機械工業会というところに見せに行ったんですよ。ところが、そこの議長さんがシャープの佐々木正さんでしたので、それをシャープの電卓に使うことになりまして、私も会社を辞めて電卓の世界に首を突っ込むことになってしまったのです。シャープの三〇万とか四〇万円の電卓には、私のMOSコンデンサー・メモリーが使われているはずです。

——やがてご自分でも電卓事業を興された？

小平　というのも、当時これがあまりに売れたもんですから、じゃあ自分も電卓つくって売ろうかということになってしまった。

——でも結局、最後には倒産じゃ、後悔なさったでしょうね。

小平　こんな激しい業界のなかでやるなんていうのはとんでもない話だと気がついたときは、手

遅れでした。後悔先に立たずです（笑）。

東京電子応用研究所は、長野県の伊那と小諸に工場をもっていた。工場の従業員が三〇〇人。それに本社事務に八〇人。合計三八〇人。商品名がティール。国内販売はせず、ヨーロッパ市場とアメリカのシアーズとかJCペニーなどのデパート経由で販売した。その一方で、国内のキヤノン、東芝、日立などのOEM（委託生造）を引き受けていた。

小平　一口に電卓五〇社と言ってますけど、実際に戦線に参加して勝った負けたとやったのは三〇社前後じゃなかったでしょうか。

——名前を覚えていらっしゃいますか？

小平　日本における大企業というのは、全部手を出したんじゃないでしょうか。日立、東芝、松下、サンヨーなど。それに、電卓専門の大手で、シャープ、キヤノン、カシオ。その他、リコー、ブラザー、ビクター、日本コロムビア、オムロン、システックとかビジコン、エイコービジネスマシーン。それに私どもの東京電子応用。このほかにも私が知っているだけでも、五社か六社はありましたから。OEM専業メーカーは除いて、これだけあったんですから。

——なるほど。

小平　電卓戦争の敗者っていうのは、わりに悲惨でしたからね。勝者というのはあまりにも少なくて、敗者が多すぎましたから。

——悲惨だったというのはどういうことですか。

小平　やはり急激に売上規模が拡大しまして、年々企業のスケールが二倍三倍、少なくて倍とい

う形で拡大していきましたでしょう。そうすると、つまずいたときに巨額な負債を背負ってしまう。だから経営者はもちろん、会社を組織していた機能が壊滅しちゃうんですね。人的にも、資産的にも。整理していったらある程度資産が残るといったことには絶対ならなくて、壊滅的な状態で倒産していきますからね。

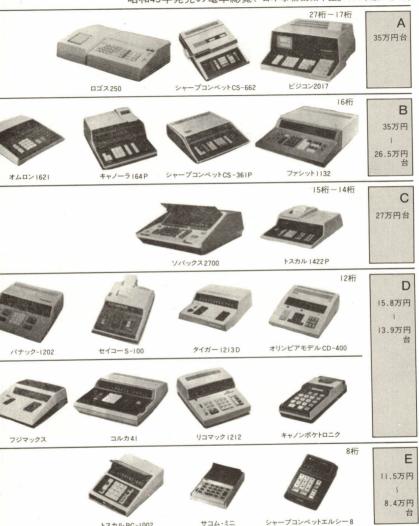
――勝者と敗者とおっしゃいましたけど、小平さんご自身はどっちの側なんですか？

小平　私の会社は電卓戦争における、変な言い方ですけど、最後の倒産企業でした。私の会社がもし倒産してなかったら、カシオやシャープのほかにもう一つ残ったっていう感じだったんですけどね。私が電卓戦争最後の破産経営者になりました。倒産したのは昭和五三年の一月でしたから、最後まで頑張ってたんです。それ以後に電卓メーカーの倒産はないと言われていますから（笑）。

■価格急落で乱戦模様の電卓市場

昭和四六年の『日本事務機械年鑑一九七一年版』には、前年の昭和四五年に発売された電卓の総覧が載っていた。全部で三六ブランド二一〇機種、三三メーカー。そのなかで写真つきの機種だけを抜き出してみた。昭和四五年の新鋭機である。全部で二九機種を、計算できる桁数の多い順に並べなおして転載してみた（三四二～三四三ページ）。

Aゾーンは二七桁から一七桁までで、価格も三五万円台である。ちなみにいちばん左のロゴス250は、イタリアのオリベッティ製で日本オリベッティが発売したものである。二七桁の四則演算の他

昭和45年発売の電卓総覧(『日本事務機械年鑑』1971年版による)

エルカ36カスタム

カシオAS-B

トーホービジコン120-DM

シチズン1211

キャルサー512

ユニトレックスIC12

NCR-18号12型

ビジコン121-DB

に自動割り引き割増し計算など多様な計算が可能。プリンターつきの大型デスクトップ型計算機であった。消費電力一〇〇ワットで価格が三五万円。

Bゾーンの五機種が一六桁の計算機で、価格が上が三五万円から下は二六万五〇〇〇円。Cゾーンは一五桁と一四桁で、左のソバックスは一五桁ながら四九万八〇〇〇円と最高価格である。右のトスカルは東芝製で一四桁、二七万円。

二段も並んでいるDゾーンは一二桁計算機が全部で一五機種。価格が一五万八〇〇〇円から一三万九〇〇〇円。当時はこのゾーンが主流であった。ゾーンEでいちばん左のトスカルは東芝製で一〇桁計算機。真ん中のサコム・ミニは三洋電機製の八桁一一万五〇〇〇円。いちばん右のシャープコンペット・エルシー8は八桁計算機で八万四八〇〇円であった。

ここまでが、昭和四五年の市場の姿である。三十数社のメーカーが二一〇機種を超える電卓を製造し、市場で鎬(しのぎ)を削っていたのである。ここに四六年になって、すでに見て来た通り、ワンチップ電卓が登場し、電卓メーカーが雨後の筍(たけのこ)のように乱立し、市場は乱戦模様を呈しはじめた。低価格帯の八桁電卓が瞬く間に四万円台に急落したのである。この年に登場したビジコンLE-120Aが八万九八〇〇円をほぼ同じ仕様で四万九八〇〇円で売ったのが、「オムロン800」であった。これを人びとはオムロン・ショックと呼んだ。

やがて衝撃的価格で登場するカシオミニの設計が始まったのはそんな昭和四六年暮れのことである。当時カシオ計算機の常務取締役になっていた志村則彰さんは、開発の動機を次のように回想している。

志村　昭和四五年から六年にかけてのことですが、LSIが登場したとき、私たちはこれをどう使っていくべきか検討しまして、その結論が電卓のパーソナル化でした。トランジス

タ電卓に始まってIC、LSIと発達してきたんですが、オフィスの事務機を追っかけている限りは、それほどのインパクトはなかったわけですね。

——数が限られてるから？

志村　ええ。相手が企業ですからね。その頃の電卓というのは、八桁で大体五、六万円でした。五〇万円台のトランジスタ電卓から始まって四〇万円、三〇万円、二〇万円、一〇万円、五万円と下がってきた。それを買ってくれたのは、個人ではなく企業でした。しかも企業に関する限り普及・浸透しつくして、販売台数の伸びは目に見えていた。そこで、需要を掘り起こすには、個人用の電卓をつくるしかないと考えたのです。

——なるほど。

志村　LSIをパーソナルな商品に使えば、極端な言い方をすれば日本人口の何分の一かが買ってくれる。なにも電卓に限らないわけで、電子手帳もワープロも、電子楽器も考えればいくらでも考えつくんですが、まずは得意の電卓からやってみようと思ったんですね。

——なるほど。

志村　私もその頃にはトップとのつながりもできまして、重役さんたちにパーソナル電卓のアイディアを提示し論議をしてもらったことがあったんですが、みんなが「個人用電卓などと言ったって、一万円切らなきゃ駄目だよ。一万円を切って、大きさが適当だったら売れるんじゃないの」と言うんですね。じゃあ、その線で考えてみようかということになり、羽方君に「価格を一万円に設定したら、どんな電卓ができるのか」を検討してもらうことにしたんです。

当時のカシオ計算機の本社ビル

実際にカシオミニを設計したのは、現在常務取締役ＳＶ事業本部長の羽方将之（四七歳）さんであった。昭和四二年早稲田大学理工学部電気工学科を卒業し、カシオ計算機に入社した。論理設計をやらせたら天才的なひらめきを発揮するエンジニアとして志村さんに紹介された。この本で前述したリレー式加算機の図面を描いてくれたのは、羽方さんである。インタビューを終えたあと、計算の原理について手ほどきを受けたいとお願いした。「ああ、それは簡単なことですよ」と彼が解説しはじめたが、素人の私にはまったくチンプンカンプンであった。何を聞いても「ああ、それは簡単」と言うのが口癖らしく、天才に物を聞いても凡人は自分の頭の悪さを思い知らされるだけだ、と感じたものである。結局私たちが計算原理の概要を知ったのは、恥ずかしながら絵本『道具と機械の本』（Ｄ・マコーレイ著）によってであった。

そんな羽方さんに聞いた話のなかで強い印象

を受けたのが、次の会話である。少し回り道になるが彼の持論をまず聞いていただこう。シリコンチップの中につくり込むソフトはこうした人たちによって設計されていること。その武器が論理設計であること。それらが如実にわかる話である。

羽方　論理というのは、非常におもしろいものなんですね。これにとりつかれると、夢中になってしまうんです。ANDゲートとORゲートをちょっと組み合わせますと、なんでもできてしまう。できないことはないんですね。電子楽器のように音を出させたいと思えばそれも自由にできるし、計算をさせたいと思えば計算もできる。論理であらゆることが実現できる。理論的には不可能なことはない。これが、たまらなく楽しいんです。

――へえ、そんなもんですか？

羽方　ええ。ワープロも論理回路、電子手帳も論理回路、万年カレンダーなんていうのも昔なかったと思うんですが、論理回路。論理回路。現代人は論理回路に囲まれて生きてるようなものですね。論理回路を使って考えれば人間の手で実現できないものはない。無限の可能性に満ちている。問題は人間の頭が、どこまで論理回路を使いこなせるかですがね。

――へえ、そんなもんですか？

羽方　そうです。アルゴリズム（問題解決のための処理方法や手順）というふうによく言ってるんですけどね。問題を解くアルゴリズムを自分で考えて、回路化してやれば、何でもできる。こんな音を出したいと思えば、そういう回路を

羽方将之氏

つくってポンと弾けば、ピアノの音も出るし、バイオリンの音も出る。これは楽しくてしようがない。エンジニアとしてはそれこそが生きがいということになりましょうかね。

——何だかわかったようなわかんないような。やっぱし、私にはわからない（笑）。

羽方　アハハハ、そうでしょうね。

論理回路を使えば、理屈のうえでは不可能なことはない。それを妨げるものがあるとすれば、それはゲートの数が足りないということである。つまりスイッチング素子が足りないということであり、すなわちトランジスタが足りないということである。だからより高度なことを実現しようとすると、それだけ数多くのゲートが必要になり、すなわちトランジスタが必要になり、それを高密度でシリコンに集積する技術が必要になるというわけである。

▨ 一万円電卓の開発可能性

さて、本題に戻ろう。一万円電卓の開発を思いついた志村常務は、その可能性を羽方さんに検討させた。昭和四六年秋のことである。

羽方　実はその頃、昭和四六年頃はボウリングがものすごく盛んだったんでして、私は東大和市（ひがしやまと）にいたんですけど、すぐそばにボウリング場があったんですね。だから、会社が終わるとみんなでボウリングに行ってたんですね。ところがボウリングの点数って結構つけるの面倒でしょう。それに、あれ三桁ですから。そこでボウリングの点数が計算できりゃいいんじゃないかという話がちょっとあったんですね。

――三桁の電卓ですか？

羽方　なんぼなんでも三桁じゃ使いでがないというわけで、四桁から五桁へと考えを進めて一回だけ五桁でちょっと試作してみたんです。ところが五桁だと限度が九万九九九九円。これじゃ、いかにパーソナルとは言っても、ちょっと足らないかなというので、じゃあ六桁ならどうだろうとなったわけです。

――六桁だと一〇〇万円以下？

羽方　九九万九九九九円。これだけできれば、普通の足し算は充分じゃないか。ただ掛け算をやりますと、六桁じゃちょっと足りない。そこで掛け算だけは一二桁まで答えが出るようにしよう。まあ、ここまでできれば、一般個人が日常使う計算機としてはいいんじゃないかと考えました。

――それなら価格が一万円以内に収まる？

羽方　なんとかね。もう一つ実際に苦労したのは電池で動かすということでした。小さくまとめて、しかも電池で動かすということがいちばんのポイントだったですね。

――電池で動かすって当たり前の話じゃ……。

羽方　いや、今はもう当たり前ですけどね。当時は可搬型電卓でも交流電源で駆動するというのが常識だった時代ですから。電池で動かそうとすると、非常に高価で大型になってしまうんですよね。特に単三という普通の電池を使って動かすということが、設計上の重要なポイントでした。

――電池で動かすのが可能になったのは？

羽方　回路の省力化を徹底したということです。消費電力がいかに少ない回路をつくるかが決め手でした。八桁なんかにしますと、回路規模が大きくなってしまいますから、どうしても消費電力が大きくなってしまう。電池で動いても一時間しかもたないというのじゃ使いものになりませんから、最低でも連続使用一〇時間が設計目標でした。

——どうやったんですか？

羽方　具体的には回路に流れる電流を減らすことでした。ＬＳＩの駆動電圧は一二ボルトだったんですが、表示装置のディジトロンには、二〇ボルトから三〇ボルトという比較的高い電圧が必要でしたので、極力電流が流れないようなドライブ方法を工夫しました。

三桁の計算機から検討しはじめた二人は、やがて四桁、五桁、六桁と計算できる桁数を上げていった。価格一万円という制約をはずさない限り、それ以上に桁数を上げることは不可能であった。あくまで一万円電卓の方針を守るか、それとも一万円の価格にこだわらずに、機能を拡充するかを決めなければいけなくなった。

志村　羽方君が最初にもってきた話が「三桁ならできる」っていうわけですよ。三桁の四則算なら一万円でもできると。

——三桁ということは、一〇〇円台……？

志村　そうです。いくら安くても一〇〇円台しか計算できないんじゃ駄目だよと言ったんですが、それから順次、四桁になり五桁になり、六桁になった。

——価格一万円で？

志村　六桁ならできそうだと。ただし、小数点はなし。小数点以下の計算をするとなると四桁し

かできない。小数点回路というのは意外と論理回路を食うんですね。ですから小数点をあきらめたら六桁まではいける。その代わり六桁でも掛け算だけはダブル・レングスで一二桁までできるというんですね。

――決心のしどころですね。

志村　よく考えてみますと、六桁というのは九九万円なんですね、計算のできる範囲が。昭和四六年当時、個人が一〇〇万円までの計算をするというのはそうざらにはなかったんですね。それからお金の計算なら小数点はいらないんじゃないか。それだったら六桁の四則算がきちっとできて、価格が一万円なら小数点がなくても大丈夫だ。「これ行こうよ」と、羽方と二人で決断しました。役員会議にははからずに、トップの判断を直接仰ぎました。

――直談判で?

志村　役員会議にかけると、どうも反対されて潰されそうでしたので。というのも、当時は八桁の計算機が主流でしたから、そんな時代に六桁などと言い出したら反対されるに違いないと思ったからです。パーソナル化という大義名分を掲げてはみたものの、それが本当に世の中に通るのかどうかというと必ずしもそうじゃない。私たちだって六桁電卓に自信があるのかと詰問されると、どうも屁理屈くさいところもある。そこで羽方とどうしようかと悩んだんですが、結局特定の役員に相談しまして、実は今の社長なんですが、やらせてもらうことにした。

――役員会をパスして?

志村　ええ。私たちが相談した役員が、「みんなに相談しなくていいから」やってみよう、と責任

カシオミニに内蔵されたＭＯＳ－ＬＳＩ、（下）その拡大

をもってくれましたので、羽方と私が大車輪でやりました。彼が論理回路を考え、私が開発スケジュールを立てコスト見積りを計算した。安くしなきゃいけないですから一円単位まで全部私が見積りもしましてね。ちょうど昭和四六年の暮れでしたが、最後はここで締めちゃって、新年は新しい気持ちで楽しくいこうよというので「羽方、おまえ、会社に来なくていいから、ホテルに籠って設計を完成させろ」と言ったんです。企画に着手したのが昭和四六年（一九七一年）一〇月でしたが、一応図面上にまとめ終わったのが一二月の末でした。実際に商品ができたのは、翌年の七月か八月だったと思います。

すでに見てきた通り、当時は電卓市場の主流は一二桁で、八桁電卓が八万円台から半値に急落した時代であった。しかし六桁電卓など、だれ一人考える人はいなかった。計算機として必要な桁数は、最低でも八桁でなければならないという固定観念が市場を支配していたからである。そこを志村・羽方コンビは、個人が使う計算機なら一〇〇万円未満でも充分だと考えた。そこが非凡なところであった。

確かに昭和四七年当時の大学卒初任給が五万二九三〇円（リクルートリサーチ確定初任給調査より）。勤

労者世帯の平均月収入が一四万六二円（毎日新聞社発行の『一億人の昭和史』より）だったから、一〇万の桁で四則演算ができれば日々の計算には不便はないわけである。ついでに言えば、当時はビール一本が一四〇円、かけうどん一杯とコーヒー一杯がそれぞれ一〇〇円の時代である。そうは言っても非凡なアイディアが常に支持されるとは限らない。彼らも自分たちの考えが、当時の主流から外れているることを自覚していた。だからこそ自分たちの考えが、社内の稟議で葬られることを恐れ、内密に事を運んだのである。

立川市曙町に小さなホテルがある。ネオンの看板「HOTEL NEW PLAZA」の横にカタカナで「ホテルニュープラザー」と書いてある。東大和市にあるカシオ計算機の本社からバスで一五分。ホテルに籠った羽方さんは早速設計にとりかかった。一万円電卓の開発が最大の目標であった。

思案の末に決めたスペックは、次の通りである。六桁の加減算、一二桁の掛け算・割り算と入出力制御を一個のMOS・LSIで駆動する。単3四本で連続使用一〇時間。予想原価四五〇〇円。

二日二晩かかって論理回路を書き上げたとき、昭和四六年は大晦日が目前に迫っていた。明けて四七年二月下旬、図面は日立製作所武蔵工場に渡され、三か月かけてLSIに加工された。六桁電卓の開発を知る人は、社内にすらほとんどいなかった。

羽方　当時は会社が東大和にありました。西武拝島線の玉川上水駅から歩いて一〇分、中央線の立川駅からバスで一五分でした。あの頃は電卓戦争の真っただ中でして、毎日が戦争だったですから、年末も正月もなかったような気がするんですが、あのときは志村常務から「年末はどうせ掃除だから、お前は掃除しなくていいから、その代わりホテルかどこかで設計をしてくれ」と言われまして、紙とエンピツを持って立川の安ホテルに籠ったんです。暮

れの二七日に入って二八日いっぱいかけて、丸二日間で設計図を書き上げました。

――二日間、朝から晩まで?

羽方　まあそうですね。

――それで年越しは?

羽方　年は越せましたよ。昭和四六年の仕事に一応ケリをつけて四七年の正月を迎えました。松の内があけるとすぐ、その設計図に基づいて試作を始めました。

――試作というのは?

羽方　私たちはモックアップをつくると言ってるんですけどね、トランジスタ単体で設計図通りに巨大な電卓をつくってみるんです。それで実働テストをしてみて、回路に間違いないとわかってからＬＳＩの図面に仕上げていくんです。

――大きさがどのぐらいのものになるんですか?

羽方　それはやっぱりテーブル二つぐらいですかね。全部手配線で、トランジスタや部品をハンダづけしてつくるんです。これを実際に電卓同様に動かして、回路ミスを見つけては訂正して正しい設計図に仕上げていく。

――論理回路図を電気回路図に翻訳してトランジスタ単体でつくってみて、動作させてみて回路図の正否をチェックするんですね。

羽方　それをモックアップのファンクション・テストと言ってるんです。

■六桁電卓「カシオミニ」の登場

TI社のジェリー・メリマンさんたちはグリッド・ボードと呼んでいたが、シリコンに電卓回路を集積する前に同じ回路を別の素子でつくってみる。一九六ページの写真と同じようなものである。半導体プロセスにしてしまうと、あとから修正するのが困難だからである。先述した通り、シャープの吉田幸弘さんの体験では、ロックウェル社ではこれをコンピューターでシミュレーションしていた。

――このテストは重役さんたちにも見せるのですか?

羽方 はい。このモックアップをつくることで回路の良し悪しと同時に正確な原価が予測できますので、関係する重役さんたちは来ますね。

――正確な原価はいくらだったのですか?

羽方 四五〇〇円になりました。

――重役さんたちの反応は?

羽方 それなら行けるという感じでした。

――それが何月とおっしゃいましたっけ。

羽方 二月です。このテストが終わってから図面を日立に渡して、日立さんがこの論理図面に基づいてLSIにするためのマスク用のレイアウト図をつくった。その日付が一九七二年(昭和四七年)二月一七日。私の誕生日の前日でした。

――いやに日付が正確だと思ったら、誕生日の前日でしたか。

Communication

羽方　はい。それで、日立さんというのは実は、私どもの昔の工場と車で二〇分ぐらいの距離なんです。日立の武蔵工場ですね。どうしてもカスタムLSIですとかロジックLSIをお頼みする場合は、お互いの回路を充分理解していかなきゃいけませんので、コミュニケーションっていうのがすごく大事なんですね。ですから、距離が近いことが大変重要なんですね。ちょっとここをこう変更しようなどということが結構多いものですから、電話で言っててはラチがあかないときがあるんですね。ですから二〇分で行き来できるというのは、大変な地の利なんです。

――最初のチップができてきたのは、いつ頃なんですか。

羽方　確か六月でした。

――そんなにかかってるんですか。

羽方　ええ。でも論理設計から始めて半年で商品が出荷できたというのは、今ではちょっと考えられないスケジュールなんですね。

――ああ、そうなんですか。

羽方　そうですよ。

――それで最初のチップを受け取って電卓に取り付けて、パッパッパとやったら、ハイできたと。こういうふうになるもんなんですか？

羽方　とんでもない。われわれの手を離れますと、あとは神頼みですわ。これはLSIの設計者がいちばん神経をすり減らすところなんです。今でもそうですけどね。特にこういうディジタルといいますかロジックの世界というのは、配線が一か所間違っても駄目ですからね。

アナログのようにあとから調整するということができませんから。「1か0か」「YESかNO」かの世界ですから。それは論理図も回路図もLSIのマスク図形もあらゆる局面でそうなんですね。ですから一〇〇パーセント一発で動かすというのは、並大抵のことじゃない。

——それでカシオミニのときは動いたんですか、動かなかったんですか。

羽方　動いたんですよ、一発で。

——それはおめでとうございます。社内の反応は？

羽方　私よく言うんですけど、象を知らない人に象の話をしてもわからないでしょう。つくっているときは六桁電卓なんてオモチャをなぜつくるのかと言われたりしましたが、実際ものができてみると「あれっ、オモチャじゃないな」とか「なかなか使えるじゃないか」とかっていうことになった。やっぱり完成して初めてわかるものですから。それまではやっぱり一人でやるしかないんですね。ものができてからは、六桁のオモチャと言う人はいませんでした。

完成した「カシオミニ」を見たカシオ計算機の経営陣のなかに、オモチャだと言う人はいなかった。しかし、「これは売れる」と太鼓判を押した重役もいなかった。だれもが内心「これが本当に売れるのだろうか」と疑心暗鬼だったようである。主流の一二桁電卓が、次第に八桁に移行していた時代である。六桁電卓とは、あまりに市場の現況からかけ離れていたからである。

志村　今の社長に呼ばれまして、「おまえこれで本当に勝てるのか」と聞かれましてね。

——何と答えたんですか？

爆発的な売行きを記録した６桁電卓「カシオミニ」

志村　ここまで来て「負けます」とは言えませんから「負けません」と。しかし、不安ではありましたね。市場では相当冷ややかに迎えられましてね。特に競合メーカーさんは皆さん「これは売れない」と断言したそうです。

――一笑に付された？

志村　はい。ところが、うちの営業が売ってみたら、来るわ来るわ、どんどん注文が殺到した。最初はせいぜい月五万台と思ってたのが、すぐに一〇万台になり、一五万台になり、ものすごい勢いで売れていった。それはすさまじい売れ行きでした。

羽方　最初は、今の社長が当時営業本部長で専務だったんですが、「五万台は売れるかなあ」と言ってたんですね。それでLSIチップの量産計画も日立さんには五万個と注文を出しまし

た。蛍光表示管のメーカーには、一〇万以上一五万個くらいだろうと増産を頼みました。

——実際にはどのぐらい行ったんですか。

羽方　四七年八月から販売を開始して、翌四八年いっぱいまでに二〇〇万台はけました。

——うひぇーっ、二〇〇万台！

羽方　しかもこのワンモデルで。半導体の場合は特に増産すればどんどん劇的にコストが下がっていきますから、日立さんのプロフィットは莫大なものになったと思うんです。電卓が半導体産業に貢献した典型的な例でしょうね。

一部の重役を除いてほとんどだれにも知らせぬままに推進してきた開発であったが、六桁電卓の発売はやがて、業界の知るところとなっていた。しかしそれが登場しても大勢に影響はない、とだれもが考えた。それは玩具に毛の生えた程度の電卓であろうし、市場の本流にはなるはずはないと読んだ。そのうえ価格がまさか一万円台になると、だれ一人想像していなかったからである。

しかし価格をいくらに設定するかは、発表当日まで社内でも知るものはいなかった。一万二八〇〇円という価格は、カシオ計算機の社長が発売当日の朝独断で決めたのだという。この価格が抜き打ちで発表されたことで、業界が震撼した。それまでに存在した最低価格の三分の一にも満たなかったからである。カシオミニの登場で電卓市場は血を血で洗う価格競争に突入し、仁義なき戦いへと駆り立てられていくのである。

小平　電卓戦争にいちばん大きな影響を与えたのは、やはりカシオの六桁電卓の登場でした。あれは電卓業界にすさまじいインパクトを与えましたね。当時、私のところで製造していた「ティール」なんか、一二桁の四則演算可能で四万円台でしたから。これでも割合に安い

と言われて評判が良くて順調に売れていたんですから。それが、六桁とはいえ一挙に一万二千なんぼという値段でドーンと撃ち込まれて、市場に風穴が空いちゃった。これで私がやってきたような回路設計を競う時代が完全に終わってしまったんです。

――「カシオミニ」の衝撃を、小平さんご自身はどういうふうに受け取られましたか。

小平　あれだけの安さに対して、どういう形で設計を変えていったら安くなるのか、瞬時茫然として頭に浮かばなかったですもんね。値段が安すぎて。そしていくら考えてもあの値段まで下げていける自信がなかった。茫然自失というのが正直な感じでしたね。

――何が衝撃的だったんですか。

小平　やっぱりコスト。値段が何といっても衝撃的だった。コロンブスの卵で、結果的に言えば当然考えられることでもあったし、できることでもあったんですが、しかしだれもやらなかった。六桁電卓なんて玩具だと考えてね。しかし、カシオは敢えてそれをやった。市場戦に対するカシオのすぐれたセンスというのには脱帽しましたね。

――業界全体がカシオミニ・ショックを受けたんでしょうね？

小平　当然ですね。特にシャープさんは相当なショックだったと思いますね。一挙にカシオ電卓がシェアをぐんぐん伸ばしていきましたからね。ただ、そのことがさらに電卓におけるＬＳＩ化を加速させたというか、次なる技術革新への起爆剤になりました。今度は半導体メーカーのほうが、躍起になって電卓用ＬＳＩ開発に総力を集中していったと思うんです。

日本の電卓から世界の電卓へ

■泥沼的な価格引き下げ競争へ突入

想像を絶する低価格で市場を席巻したカシオミニの影響は、単に低価格帯の電卓に止まらなかった。高価格帯から低価格帯まで、あらゆる電卓の価格をひきずりおろしたのである。当時シャープの専務取締役だった佐々木正さんは、カシオミニの登場が与えた影響について大きな不安を抱いたという。

佐々木　シャープというのはエンジニアリング主導型の会社でしたから、エンジニアたちは八桁以下の計算機なんか計算機じゃないと考えていた。ところがカシオさんは、六桁でも売れると市場を読んでマーケットをつかんだ。個人の客を相手にするなら少しぐらい機能が落ちても安いほうが売れると考えた。シャープの場合は機能を第一に考えたうえで、可能な限り値段を安くする。カシオとシャープの差は、この差でしたね。

――パーソナル・ユースなら六桁でも売れるだろうと。

佐々木　そうなんですわ。個人がする計算なんて簡単な計算しかしないからね。確かにあれは大当たりを取った。私だってカシオさんに「六桁なんてようやりましたなあ」って何度も言ったことがあるんですよ。しかし参ったのは、それでいったん値段が下がると、今度は八桁でもそのぐらいの値段に下げにゃいかんということになった。

――ああ、なるほど。

佐々木　血みどろの価格競争が始まったのは、あのときからですよ。それで、ついに現在の一台一〇〇〇円なんて価格まで下がっちゃった。

――カシオミニが出たとき、どうお思いになりました？

佐々木　こりゃ大変だ、これで全部の値段が引っ張られると思いましたよ。あの直後に私は予言したんだ。「やがて一〇〇〇円電卓が出ますよ」とね。私が業界の会議で一〇〇〇円電卓の時代を予言したものだから、みんなびっくりしちゃって、通産省も仰天していましたが、結果は私の予測通りに推移しましたからね。

――社内的にはどういうふうに対処なさった？

佐々木　いやぁ大変でしたよ。あの値段に対抗しながら利益が出るように製造原価を切り下げるのは大変でしたなあ。自動化を考えるとか、下請けはできるだけ田舎のほうの業者を使うとか。だから当社の工場を奈良から三重のほうに移したり、それは苦心惨憺でしたよ。

――三重のほうが人件費が安かった？

佐々木　そう。その一方で自動化を図った。自動化が完成すると、それまでに育成してきた下請けがいらなくなった。この問題がまた難題でした。

――今度は人がいらないからと。

佐々木　いらないから。そこで、そうした工場には高級なものをやらせるとか、苦労が絶えませんでした。

電卓戦争の章が始まる冒頭で、数枚のグラフを見ていただいたが(一〇〇～一〇一ページ)、もう一度各グラフの昭和四六年に注目してほしい。特に総生産台数のグラフを検証していただきたい。昭和四六年まではゆっくりと増加してきた台数が昭和四六年を境に絶壁を登るように急上昇していくが、これはカシオミニの登場によって電卓が個人用具になり、人の数だけ売れていったからである。

特にここで触れておく必要があると思われることは、カシオミニの売り方であった。リレー式計算

機をつくっていた時代の樫尾製作所では、代理店を経由して売っていた。それが電子式卓上計算機の時代に入ると、直販部隊を編成して車による訪問販売で、ユーザーの新規開拓を徹底した。それをカシオミニの時代に入ると、従来の直販制度を廃止してテレビ宣伝による大量販売に切り換える。カシオミニを文具店に置き、テレビ媒体を使って購買衝動をかきたて、ユーザーの足を文具店の店頭まで運ばせたのである。

そのためにカシオ計算機は全国五〇社を超える文具卸商で、カシオミニの販売ネットワークを組織した。卸商につながる一万五〇〇〇にものぼる文具店を押さえて、独自の流通チャネルをつくったうえで、テレビCMを執拗に繰り返した。

こうした独特の販売戦略によって、カシオミニが目をみはる勢いで売れていった。ライバル他社が同じ販売方法を採用しようと考えたときには大半の文具店がカシオ計算機の傘下に入っていた。熾烈な電卓戦争に、カシオ計算機が生き残れた大きな要因の一つが、この販売戦略に負うところが大きかったと言われている。

志村　電卓戦争は、カシオミニ以前と以後で様相が非常に違うんですね。カシオミニが登場した年の電卓生産台数は二〇〇万台でしたが、「カシオミニ」の以後は、四〇〇万、五〇〇万、一〇〇〇万、二〇〇〇万、六〇〇〇万、九〇〇〇万と激増していった。

——確かにその通りですね。

志村　一九七〇年（昭和四五年）の初めにMOS・LSIが実用に供されるようになり、これをいかなる用途に使うのがいちばん良いのかを模索していた時代、電卓戦争のなかからパーソナル電卓が実現していった。これが日本の半導体史に非常なインパクトを与えたことはま

ぎれもない事実ですが、その引き金になったのがカシオミニでした。

――なるほど。

羽方　ある方に言われたんですが、業界の電卓販売台数が倍々と急増しているのに、販売金額が落ちているんですね。四六年の時点で日本の電卓生産数が二〇〇万台。四七年が四〇〇万台、四八年が一〇〇〇万台と、二年間に、生産した電卓数は激増しているんですが、販売金額が一〇〇億円も下がっているんですね。これはカシオミニのショックで、電卓全体の値段が暴落した証拠なんだと言われたことがあるんです。

電卓用のワンチップLSIを売り出して、四畳半メーカーの乱立を招き、八桁電卓の価格急落に大きく貢献したテキサス・インスツルメンツ（TI）社もカシオミニの登場に大きな衝撃を受けた。

汎用性に富むTMS-1000というLSIさえあれば、市場を長期的に独占できると思っていた日本テキサス・インスツルメンツ社は、自慢のチップを急遽半額に値下げすることにした。それでも充分に採算がとれたというのである。当たれば半導体ビジネスが、いかに莫大な利益を生むものかがわかるエピソードである。

日本テキサス・インスツルメンツ社の社長長江幸昭さんは、カシオミニの衝撃を次のように回想する。

長江　いやあ、あれはショックでした。「答え一発、カシオミニ」というテレビのコマーシャルを今でも覚えてるくらいですから（笑）。それほどショックでした。われわれはTMS-1000で日本の電卓市場を相当長く支配できると踏んでいた。なかなかこの技術は追いつかないだろうと思ってましたからね。

――まだまだ儲かると思ってた……。

長江　そうです。もっともっと売れる。市場をもっともっと増やせると。ところがカシオミニが突然現れて、あの値段でしょう。ドラスティックな値段でしたからね。

――参りましたか？

長江　このチップはサンプルで七〇〇〇円、量産で五〇〇〇円でユーザーにお出ししていたんですが、カシオミニの登場で値段を下げて欲しいという要求が強くなりまして、やむなく一気に半値に下げました。

――半値っていくらですか。

長江　二五〇〇円ぐらいに下げた記憶がありますね。

――原価はいくらなんですか、それじゃ。

長江　はい、当時で……。あっ、ええと、いや覚えてないですね。結構儲かりました。

――二五〇〇円でも損はしなかった？

長江　ええ、充分儲かりました。

――カシオミニの評価をどうお考えですか？

長江　電卓自体は、技術的にどうということはなかったのですが、やっぱり「カシオミニ」がきっかけとなって、電卓は次の世代への技術革新が進んでいきましたからね。あれが契機になって、桁数に関係なく雪崩をうつように電卓の値段がどんどん落ちていった。それがまた電卓の需要をワーッと広げ、さらに液晶電卓とか薄いキーボードだとか、あるいは最後にカード電卓へと、新たな技術革新へと追いやった。こんなところじゃないですか。

最初のカシオミニのテレビコマーシャル。「答一発カシオミニ、1万2800円」。発売以後、わずか3年で市場価格は4800円に下がった

写真は、最初のカシオミニのテレビコマーシャルである。五人家族の一人一人がカシオミニを手にして孫の宙返りを見ている。やがて幼稚園児のようなお孫さんが一回転して着地する。地上にすっくと立った坊やの手にカシオミニ。坊やが電卓を差し出しながら「僕は強くなったんだ」と叫び、画面は一転して食後の一家団欒。その上に写真のように「答一発」がダブって、音声が「カシオミニ、一万二八〇〇円」と締め括る。この一万二八〇〇円という価格が三年もしないうちに、写真のように四八〇〇円に下がるのである。

カシオミニの登場によって電卓戦争が泥沼的な価格引き下げ競争になったと言われている。爆発的に売れている六桁電卓を、他社が指をくわえて座視するはずがなかった。即刻ライバル社も、同じような電卓をより安い価格で市場に出したのである。ちなみに、カシオミニシリーズの価格の推移を抜き出してみると、昭和四九

年二月が八九〇〇円、同年二月が五八〇〇円、翌五〇年六月が四八〇〇円、五一年四月には三九〇〇円になっている。こうした価格の急落は単に低価格帯の電卓に止まらなかった。電卓全体の価格が足をひっぱられて急落していったのである。

▓情報戦争の様相を呈する電卓戦争

カシオミニ自体に革新的な技術が盛り込まれていたわけではない。電卓回路をMOS・LSIに集積したことも、ワンチップ化も、電池駆動も、ポケットサイズにまとめたことも先例があった。しかしカシオミニが半導体史に果たした役割は、計り切れないほど大きかった。電卓全体の値段が桁数や価格帯に関係なく暴落し、下がった値段に釣られてユーザーが激増した。そのおかげで、販売台数が先のグラフで見たように倍々ゲームで伸びていったのである。

やがて、真っ先に総合電気メーカーのように電卓だけで会社を維持しているのではない企業、つまり他に頼れる部門をもっていたメーカーが撤退し始めた。続いて資本力が弱くて激烈な価格競争に耐えられないところが、脱落を余儀なくされた。電卓専業メーカーでありながら資本力の充分でなかったティール社（東京電子応用技術研究所）も危機に陥った。

小平　普通それまでの常識では、優れた回路を設計したら少なくとも五年や六年は、その恩恵を手にできた。五年でも六年でも、ある期間は優れた回路技術を提供すれば相当な恩恵を手にできるというのが普通の電気製品に共通する常識でした。ところが電卓の場合は、この常識がまったく通用しなかった。たとえ、すばらしいアイディアを投入して新製品を開発

できても、莫大な投資を回収できないうちに、あとからやってくる半導体の進歩という大波に次々とのみ込まれてしまった。最もひどいときなど、まだ製品を市場に出荷する前に、次の技術革新の波にのみこまれた。市場に出ることなく膨大な在庫が倉庫に山をなして残るといったことが日常茶飯事でした。

――へえ。

小平　出し抜けにあとから低価格・高性能の商品を市場にドーンと放りこまれると、先に出ていたほうは悲劇的な事態に追い込まれる。電卓戦争というのはこの繰り返しでした。

――繰り返し？

小平　それも一回や二回じゃない。一年とか二年の間に繰り返し繰り返しやってくる。これで、どの企業でももうイヤになっちゃうんですね。ある会社がこの製品こそはと自信をもって市場に出した瞬間に、他のメーカーがより機能の高いものを市場にドーンと持ち込んでくる。そうすると、その前に出していたメーカーのものがもう二束三文でも売れなくなってしまう。値段もつかないといった事態に追い込まれる。だから大企業から中小企業まで、日立でも東芝でもシャープでもカシオでも、想像を絶するような在庫を抱えて、のたうち回った。

――その在庫は結局どうしたんですか？

小平　バッタ屋を通じて中南米にただ同然で叩き売るとか、ヨーロッパのディスカウント・ショップへ原価をはるかに切った形で売るとか、そういうような形でさばいていきましたね。シャープなんかは、市場に出さないでつぶしちゃったと聞きました。

――つぶすというのは、粉々にしてどこか埋めるとか？

小平　そうそう。壊して使えない状態にして廃棄することです。

――小平さんご自身の体験では？

小平　倒産前に東芝向けにつくっていた機械が何十万台も……。

――何十万台……！

小平　ええ、二〇万台ぐらい。デッド・ストックになってね。

――二〇万台というと、倉庫一つには収まらなかったんじゃないですか。

小平　飛行機で二台ぐらいあったでしょうかね。ソ連航空のアエロフロートで二機分とか言ってましたから（笑）。

――アエロフロートでソ連にでも持って行ったんですか？

小平　さあ。そんなことも言ってましたな……（笑）。どういう形で処理されたか知らないんですよ。私の会社が倒産したあと、製品がどう処理されたか知らされていませんので。

――それで、どれぐらいの負債をお抱えになったですか。

小平　正確には、最終的に二三億円ぐらいでしたかね。

――二三億円！

小平　はい。

――逆にものすごく儲かったときは……。

小平　いや、それが大したことありませんでした。本当に儲かったときでも利益が三億円出たか出ないかでしたから。

――それじゃ、あんまり大したことなかった……。

小平　ええ。ですから、生き延びることだけが精いっぱい。電卓戦争をいかに生き延び切れるかが最大の目的でして、利潤とか利益を上げるというようなことは極度に難しい時代でした。

――にもかかわらず、なんでそんなに沢山参入しちゃったんですかね？

小平　それは爆発的に市場が拡大したからですよ。とにかくすさまじいスピードで、マーケットが拡大したわけです。毎年毎年前年比で二倍、三倍と拡大しましたから。一〇年間に、ほぼゼロから二〇〇〇億円市場に飛躍したんですから。

こうした時代を生き延びるためには、ライバルメーカーの動静を探ることがきわめて重要であったと小平さんは言う。回路設計の技術を競うよりも他社の情報を探り、新製品に致命的な打撃を与える価格で勝負を挑む時代になったのである。

小平　情報の探り合いもすさまじかった。それはすさまじい情報戦でした。どんな技術をもっているか、設備はどうなっているか、何に着手しはじめたか、それは必死で互いに調べまくった。日本の産業がこれほどすさまじいビジネス戦争に遭遇したことは少ないと思うんです。

――たとえば自動車産業なら、「黒の試走車」とかといった産業スパイ小説がありますね。

小平　ええ。カメラ、時計、ファクシミリ、家電でも情報の探り合いはありましたけど、電卓戦争ほど熾烈で広範なビジネス戦争はなかったんじゃないかと思うんです。そしてたぶん今後もないんじゃないでしょうかね。

――それほど食うか食われるかの情報戦でしたか？

小平　スパイを使って相手の内情を探るとかいうような、ごく限られたスパイ戦ではなくて、あ

らゆる形の情報戦が繰り広げられた。だから電卓大手で二十何社かありましたが、大企業がさっさと撤退していったのは、そうした情報戦争に疎かったんですね。ソニー、ビクター、日本コロムビア、ブラザー、日立、東芝、松下など、大企業といわれる企業は電卓戦争からさっささと降りましたからね。

——情報網をもっているところが最後まで長生きした？

小平　そうです。電卓業界に情報網の少ないところ、情報機能が低いところが早期に脱落していきました。電卓戦争では負けていったのです。

——もっとも、そのような企業は電卓戦争にこだわる必要もなかったでしょうからね。

小平　情報戦争の狙い目は競争相手のもってる、さまざまなプランをどう入手するか。開発プラン、作業プラン、販売プラン。どのような商品がどういう形で、いつ出てくるのか。特に重要だったのがどういうLSIを開発しているのかという情報でした。それからコストダウンに関するデータとか生産技術に関係するあらゆる資料。どのような歩留まりに達しているのか、それがどのような品質管理で実現できているのか。

——そうした情報をどうやって入手されたのですか？

小平　半導体メーカーを経由して入ってきた情報が、非常に正確だったと思いますね。電卓メーカーが厳重に秘匿してても、半導体メーカーにLSIをつくってもらうわけですから、半導体メーカーは重要な情報源でした。もう一つがOEMのユーザー、注文主経由の情報が確度が高かったと思います。海外・国内含めて。「どこどこの電卓メーカーがこういう商品を持って来たんだけど、おまえのところはできるのか」なんていうようなことで、ライバル

の動静がわかったりしたんですね。

――半導体メーカーも情報収集には必死だったんでしょうね？

小平　最も敏感だったのは、やっぱり半導体メーカーだったでしょうねえ。電卓戦争に勝つことが、会社の命運を決するという意識がありましたから。必死でしたよね。ＮＥＣから東芝から、日立から三菱までね。

先端技術の生き残りに賭ける

電卓専業の先発メーカーのシャープは、価格競争の泥沼からいかにして脱却するかを必死で模索した。その結論は、三点あった。第一に、四畳半メーカーには手の届かない新技術を開発すること。第二に、主要部品を内製すること。第三に、低賃金に充分対抗できる生産の自動化を推進すること。簡単に言えば、新しい技術を開発し、独占し、無人化生産をしようという戦略であった。何よりも他の追随を許さぬ新技術の開発こそが先決であった。先端技術に生き残りを賭けたのである。

昭和四五年に早川電機工業は、シャープに社名変更をしたが、その当時、浅田篤さんはシャープの産業機器事業本部の事務機事業部長になっていた。

浅田　商品の競争というのは、通常、機能の競争、価格の競争、商品性の競争と三つの競争があるんですね。ところが電卓というのは、算盤代わりの機械ですから、あまり複雑になればかえって使いにくくなるわけです。せいぜい一二桁ぐらいで加減乗除ができればいいわけですから、機能競争というのは限度があります。価格競争というのは泥沼なんです。そう

すると開発力をもっているメーカーとしては、もう一歩違った意味の商品性で何か特徴が出せないかということになる。それが〝軽薄短小〟だったんです。これこそが最後の狙い目。他を引き離す武器だと考えました。

——なるほど。

浅田　ところが、キーボードもディスプレーもあんまり面積が小さくなりすぎると、かえって操作しにくくて、見にくくなるわけですね。ですから軽薄短小と言っても電卓の場合は厚みの競争、薄型電卓の開発こそが目標になったんです。

——なるほど。

浅田　では、厚みを薄くする障害が何かと言いますと、電池とディスプレーの二つがネックになっていたんですね。バッテリーは単三でも直径が一二ミリもあるんですね。電池を超小型にしようとすると、全体の省電力化を徹底的に考え直さなくてはならないことになった。LSIも電気を食わないものにする必要があるし、ディスプレーも電気を食わないものにする必要がある。とりわけ、それまでのディスプレーは大変電気を食うものでしたから、何よりもディスプレーを薄くできて電気を食わない装置にしなければならなかった。

——なるほど。

浅田　そこで私たちが目標に定めたのが、C-MOSでLSIをつくることと、液晶技術の開発でした。液晶というのは外の光を利用して、その反射とか透過で文字を表示するわけですから、これは非常に電気を食わないですね。しかも装置を薄くできる。ですから私たちは、液晶技術の研究に非常な努力を払ったのです。

――なるほど。

浅田　S734という名前のプロジェクトチームをつくりまして、液晶とC-MOS・LSIによる電卓を開発させたのです。

――暗号かコード・ネームですか、S734というのは？

浅田　Sはシャープの S、73は一九七三年の七三、4は四月。つまり一九七三年四月までに開発を完了させる計画という意味です。

――昭和四八年四月までには、C-MOS液晶電卓を完成させるということですね。

浅田　はい。

浅田さんの言うC-MOSというのは先に説明した二つのタイプのMOSトランジスタ、つまりP-MOSとN-MOSをペアで使う構造になっている素子だが、それについては後に回すことにして、ここでは液晶について述べることにする。

液晶という物質は文字通り「液体状の結晶」、つまり「液体のように流動性のある結晶」で亀の子が膨大に連鎖する分子構造をもった高分子化合物である。一八八八年にオーストリアの植物学者が、ある種の有機物質に液晶の性質を発見したのが始まりだと言われている。イカの体液や動物の血液に微量に含まれる物質の研究から始まったが、現在では当然のことながら化学的に合成されている。

液晶の性質とは、加熱したり、磁場や電界をかけると液体の状態が変化することを言う。たとえば最初透明だった液晶物質も、温度を上げていくと次第に不透明の状態になり、さらに温度を上げると再び透明になる。あるいは二枚の電極の間に液晶物質を封入し、電圧を加えると、透明だった液体が白濁して不透明になる。あるいは、光の縦波を通しても横波は通さないとかいった偏光性を帯びる。

こうした液晶の性質をもつ物質はおよそ一万種類も発見されており、それぞれに多様な特徴をもっている。

したがって液晶技術は、性質の異なる液晶物質を何十種類と調合して目的に合致する液晶性をつくりだすことである。どのような液晶物質をどのように調合するかで、できる液晶の性質が決まるのである。さまざまな性質の液晶物質をつくりだす「化学合成」と、それらを目的に合わせて配合する「調合」が技術の真髄である。

中巻に登場したチッソ（旧新日本窒素肥料）は、液晶物質の生産では世界の三分の一を供給している大メーカーである。生産工場は、重厚長大の代表のような化学工場とはほど遠く、無数の細いステンレスパイプが網の目のように入り組んだ実験室のような風景であった。一台の装置に使う液晶はわずかな量であるために、膨大な量を生産する必要はない。他の追随を許さない技術さえあれば、わずかな量を製造するだけで莫大な利潤を生む。非常に付加価値の高い商品である。

昭和四三年（一九六八年）の年末から四四年の初めにかけて、NHKは『海外取材・世界の企業』という番組を放送した。独自の技術を武器に世界市場に大きな位置を占めていた大企業をヨーロッパとアメリカに取材したシリーズであった。その第四集「現代錬金術」（一月一六日放送）ではアメリカの電気メーカーRCAの研究所を紹介していた。RCAは後に経営危機に陥って、ブランドはトムソンに、工場はGEに、研究所はスタンフォード研究所に、それぞれ買収されRCAの実体は事実上は消滅したが、当時はまだ世界的な大企業であった。

取材班はニュージャージー州にある研究所にハルマイヤー博士を訪ねている。博士は液晶材料を研究し、それらを調合した物質を使った表示装置をつくることに成功していた。博士は取材班を前にし

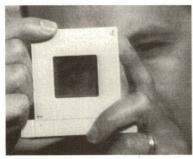
て液晶による表示装置の実験をして見せている。その模様を写真によって紹介しよう。

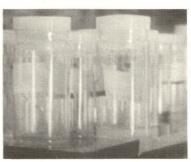
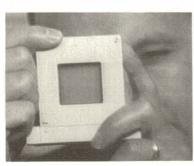
次ページの写真Aは、博士の研究室の棚に並んでいる、液晶材料の入ったビンの数々である。ビンのラベルが全部後ろ向きにされ、レンズから隠されている。どのような物質を何種類配合しているのかを知られたくなかったのである。

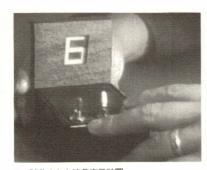
写真Bは、調合された物質を一枚のガラス板に塗ってもう一枚のガラスを挟んでいるところである。それを装置にセットして取材班に実演して見せているのが、写真Cである。液晶に電圧を加える前は、写真Dのように液晶の窓が透けて博士の目元が見える。液晶に電圧を加えると、写真Eのように窓は白濁して博士の目元が見えなくなっている。

さて、二枚のガラスの一枚に図35のように、①②③④⑤⑥⑦の端子につながる七枚の電極を貼る。これをセグメント電極と呼ぶ。もう一枚のガラスに、図36のような端子⑧につながる電極を貼る。これをコモン電極と呼ぶ。そのうえで二枚のガラスで液晶物質を挟んで封入する。そしてセグメント電極とコモン電極の間に電池をつなぐと、各セグメントに挟まれた液晶物質は電界をかけられたために分子の配列が変わり白濁する。

①から⑦までのセグメント電極すべてに電圧をかけると、数字の8に相当する領域が白濁するし、①と②に電圧をかけると、数字の1に相当する領域が白濁する。以下同様に、⑦⑥⑤②③が2、⑦⑥⑤④③が3、①⑤⑥④が4、⑦①⑤④③が5、①⑤④③②が6、⑦⑥④が7、①②③④⑤⑥⑦が8、①⑦⑥⑤④③が9、①⑦⑥④③②が0となる。

もし、ここで電極が透明ならば、二枚のガラスに封入された液晶物質の白濁は明瞭な数字として表れるに違いない。高分子化学技術の進歩がそれを可能にした。透明で、しかも電気を通す樹脂が開発

D 液晶に電圧を加える前は液晶の窓が透けている

A　ＲＣＡの研究室に並んでいた液晶材料のビン

E　電圧を加えると窓が白濁する

B　調合された物質をガラスで挟む

F　試作された液晶表示装置

C　実演してみせるハイルマイヤー博士

図35　セグメント電極

図36　コモン電極

され、「透明電極」が実現したのである。そうして試作されたのが、写真F（三七八ページ）のような液晶表示装置であった。電圧を与えるセグメント電極の組み合わせで、0から9までの数字が表現できるようになったのである。

この放送を見たシャープの技術者たちは、膝を打った。自らは光を発しない液晶は、ほとんど電気を食わないうえに、薄くできる。技術者がアメリカに飛び、より緻密な調査を開始した。画期的な技術を生み出しながら、応用商品の開発には結びつかなかったRCA。生き残りをかけて新技術を必死で模索していたシャープ。基礎研究のあと、ゆっくりと応用商品を考えようとしていたRCAは、企業の存亡をかけて商品化を急ぐシャープに液晶技術の実用化で後れをとってしまうのである。

鮮明な文字を瞬時に表現する液晶は、どのような有機物質をどんな割合で調合すれば実現できるのか。文字が鮮明に出るような物質は電界に対する反応速度が鈍く、敏捷に反応する物質は鮮明度に難点があった。

シャープの技術陣は、数千種類の物質をしらみつぶしに組み合わせて実験した。表示装置に向く有機物質の調合を死にものぐるいで追求したのである。会社の命運が、鮮明で瞬時に反応

する調合技術にかかっていたのである。激烈な電卓戦争が、液晶の実用化を促進したことだけは確かであった。

少し脇道にそれるが、現在液晶の需要は拡大の一途をたどっており、ＯＡ機器からテレビまで今後ますます応用範囲を広げていくものと予測されている。だから電気メーカーは今、目の色を変えて液晶の研究に取り組み、専門工場の建設に血道をあげているのである。したがって液晶についての先端技術は、秘中の秘であり見せてもらえなかった。

現在、最も優れた液晶の利用技術をもっているのは、シャープだと言われている。生産量のうえでも製品の質のうえでも世界第一級だと折り紙をつけられているが、彼らの液晶工場を撮影させて欲しいとお願いした。社内で激しい反対が巻き起こったそうであるが、結局、先端技術の部分を除いて通常の製造風景だけは撮影できることになった。

奈良県天理市の小高い丘の上にある大きな工場が、液晶専門工場であった。ここも半導体工場の例にもれず、工程のすべてがクリーンルームの中で行われていた。長さ五〇メートルのラインが続いているが、ほとんどの工程が自動化されていて、ラインには数人の作業員が監視しているだけである。しかも外側が覆われていて、中が見えない。長いトンネルの中で、加工処理が進んでいる。

聞いてみると、その巨大な工場の大半がガラスの表面に微細な加工を施すための工程であった。ガラスの表面に透明電極をつけるのである。透明で、しかも電気を通す化学物質を薄い膜にして付着させ、不要部分を写真エッチングで除去する方法をとっていた。電極の数は、一ミリ幅の中に三本から一〇本という超微細な線だそうである。

こうして電極がつけられたガラスを、電極が直角に交わるようにして重ね合わせ、その一端を乳白

色の糊のような液体に浸ける。液体が毛細管現象で二枚のガラス板の間に浸透していく。これを封じて電極端子をつければ、電卓の表示装置が完成する。

ガラスに挟まれた液晶が透明電極に加えられる電圧で分子の配列が変わって、光を通したり遮ったりして、影をつくる。直角に交わる電極の交点のどこに電圧を加えるかで、できる影が変わってくる。電極を選んで制御すれば、文字や数字ばかりでなく映像も、影として表現することが可能である。これが液晶表示の原理と実際であった。

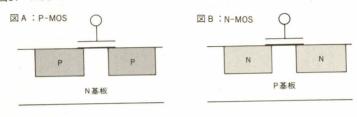
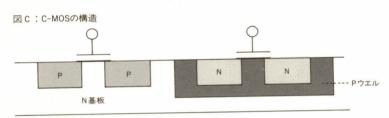
今見た液晶技術は、すでに古くなりつつあり、膨大な需要が予測される液晶カラーディスプレーなどはまったく異なる技術でつくられている。ガラスの上に電極のみならず、それらを駆動する装置も薄膜トランジスタでつくり込んでしまうスーパー技術だというのである。それこそが各社が社運を賭けて追求している先端技術で、シャープも公開は絶対にできないということであった。

新しいタイプのLSIを搭載

さて、話が余談気味になったので本題に戻ろう。液晶を採用することで表示装置が数ミリの厚さまで薄くなった。しかもそれは低い電圧で駆動でき、消費電力が激減した。しかし電卓回路を搭載するLSIの駆動電圧が高かったり、消費電力が大きければ、結果として電池が大型になり、電卓を薄型にすることが困難になる。そこでシャープは、新しいタイプのLSIを使うことにした。それが、C-MOSを集積したLSIである。

すでに二一七～二一八ページで詳述した通り、MOSFET（電界効果トランジスタ）には図37-Aの

図37　MOSFET（電界トランジスタ）

ような構造のP-MOSと、図37-BのようなN-MOSがある。

この二タイプをペアにして使うのがC-MOS（Comprimentary MOS：補完的なMOS）である。一九六三年にアメリカのウオンラス（F.M.Wanlass）とサー（C.T.Sah）という二人の技術者によって、ISCC（国際固体回路会議）で発表された。現在では広範に使われているC-MOSであるが、発表された当初はチップ面積が大きくなり工程も複数になり、したがってコストが高くつくというので製品化にはどこも消極的であった。その構造が図37-Cである。N型基板にまず、Pウエルと呼ばれるP型領域をつくって、左にP-MOSをつくり込み、Pウエルの中にN-MOSをつくり込む。

同じシリコンにP-MOSとN-MOSを隣接させ、メタル配線でゲート同士を補完的につないで使うと、消費電力が激減する。

ところが、MOSトランジスタを二個も隣接

させて一組みとして集積するわけだから、当然のことながら所要面積も大きくなれば、製造工程も多くなった。たとえばP-MOSの製造に使うマスクパターンは七枚で済んだものが、C-MOSには一枚必要だった。また、P-MOSが全工程が二〇であったのに、C-MOSは全部で二九工程必要になった。消費電力がきわめて少なくなる利点があったが、工程数が増え、チップのサイズが大きくならざるえないという弱点があった。これを独創的な考えで解決したのが、現在、東芝電子事業本部液晶担当副技師長の鈴木八十二（四七歳）さんであった。

——C-MOSというのは原理的にはサイズが大きくなるんですね。どうなさったんですか？

鈴木　今はプロセスが大変進んでいますから、微細加工を使えば小さくなりますけれども、その当時はプロセスをアメリカからもらったばかりで、縮小する技術がありませんでした。そこで考えたのが、回路をいろいろ変えて、回路を細工すれば小さなものができるのではないか。そうやって考えたのが、クロックドC-MOSという回路でした。

——何ですか、そのクロックなんとかいう回路は？

鈴木　ちょっと専門的で難しいんですけれども、C-MOSのインバーター（パルス発生回路）にクロック（時間信号で制御する回路）を入れまして、不要なときは電源を切る。そうしますと消費電力が激減する。C-MOSそのものが電力を食わないLSIなんですが、そのC-MOSの消費電力をさらに節約するための回路ですから電力消費量を劇的に下げることができたんですね。

——へえ。

鈴木　普通のC-MOS自体もP-MOSやN-MOSに比べて大変省力型のトランジスタなんです

が、そのC-MOSよりもさらに一段と電力消費量が減ったのが私どもの低消費電力デバイスC²-MOSでした。

——理解できませんが、できないままに先に進みましょう。

まったく難しい話ばかりで頭が痛いが、かいつまんで意訳すると、鈴木さんの工夫のポイントは、C-MOSの中にスイッチ回路を組み込んだことである。このスイッチはもちろん、トランジスタに置きかえてプロセス上はトランジスタをつくり込むことだが、必要のないときには時間信号でスイッチを切って回路に電流を流さないようにしたのである。

しかも、クロックドC-MOSを使った論理回路は従来型のC-MOSに比べて、使用トランジスタが一個少なくて済んだ。そのうえ、マスク図形が単純になり使用面積が半減した。電気消費量が劇的に減るうえに、全体面積も減らすことができた。電卓にとってはまことに都合のよい素子がC²-MOS搭載の素子だというのである。

——なるほど、回路技術でカバーするわけですね？

鈴木　クロックドC-MOSの回路を採用したLSIは、普通のC-MOSよりも面積が少なくて済むんです。

——実尺でどれぐらいなんですか。

鈴木　昭和四六年当時の加工技術でつくったんですが、従来型が〇・四ミリ×〇・二九ミリに対して、クロックドC-MOSは〇・二三ミリ×〇・二四ミリ。これを面積で比較しますと、単純比較でクロックドC-MOSのほうが約五〇パーセント面積が小さくなる。つまり新しい微細加工技術でなくても、C-MOSの生産上の短所をカバーできたというわけです。

A　C²-MOSのLSIで試作した電卓

B　鈴木八十二氏

――しかし、それはつくるのが難しい？

鈴木　クロックドC-MOSとC-MOSとでは、まったく同じです。

――このクロックドC-MOSを鈴木さんはC²-MOSと呼んでいますね？

鈴木　はい。クロックドC-MOSで電卓用のLSIを開発いたしました当初、これをISCCという国際固体回路会議に発表したんですが、そのときクロックドC-MOSという名前をつけたんです。それでCLOCKED-C-MOSと、Cが二つ重なるので、C×CでCのスクエアとかC²のMOSと呼んだんですね。

――へえ、鈴木さんの考案ですか？

鈴木　そうです。

写真Aは、C²-MOSのLSIで試作した電卓である。入力、演算、記憶、表示と四つの機能を司る回路を三個のLSIに集積した。アクリ

ル製のケースは自作。社内ではＬＳＩセブンと呼んだが、何よりの特徴が消費電力一〇ミリワットという極小電力であった。当時のＰ-ＭＯＳのＬＳＩでつくったシャープ製電卓が消費電力四〇〇ミリワットだったから、Ｐ-ＭＯＳ電卓の四〇分の一に下げることに成功したのである。

にもかかわらず形が大きいのは、表示装置に蛍光表示管を使ったためである。駆動電圧二五ボルトという大きな電池が必要であったために、全体のサイズがハンディーサイズになってしまったが、表示装置を液晶にすれば劇的にサイズを縮小できるはずであった。

しかし、これを東芝は生産に乗せようとはしなかった。そこで鈴木さんは試作電卓をシャープに持ち込んだ。シャープは三個のチップを一個にするように要請し、表示装置を液晶に変えて、「液晶コンペットＥＬ８０５」として発売したのである。

長時間使用可能な電卓の誕生

鈴木八十二さんは、昭和一九年八月一二日に埼玉県川口市に生まれた。名前の八十二は、生まれた日付けの八月一二日からとられたという。昭和四二年に東海大学の電気工学部卒業後、東芝へ入社した。最初に担当させられたのが大型の八桁電卓の設計であった。トランジスタとダイオードでつくる電卓に、鈴木さんは満足しなかった。どうせ電卓をつくるなら、軽薄短小でポケットに入る電卓をやりたいと考えた。

鈴木　私は正直言って、大学時代、ＩＣというのは知らなかったです。マイクロモジュールというハイブリッドＩＣは知っていたんですけれども、モノリシックなＩＣを知らなくて、通

産省の電子技術総合研究所に行って勉強させてもらいました。それが半導体に首を突っ込むようになった、大きなきっかけでした。

——配属先は？

鈴木　配属先は柳町工場の機器事業部ですね。電卓をやっているのは機器事業部でしたから。もちろんプリンターとかいろいろやっていましたから、OA機器の事業部ですね。ところが、その当時、東芝は半導体をやりはじめて人が足りないということで応援に出されまして、昔のトランジスタ工場、今の多摩川工場に移されました。そこで駐在という格好で四年間仕事をやってつくったのが先ほどの三チップのLSIでした。当然、これはその当時は、正直言って、いろんな方から反対されました。

——MOSトランジスタとか、あるいはC-MOSとかに関わるようになったというのは、これまたどういうことですか？

鈴木　入った当初はバイポーラICとハイブリッドICをやらさせていただいたんですけれども、四四年頃だったと思うんですが、今は超LSI研究所の所長になられている武石喜幸さんに、C-MOSをやらないかと言われたのがきっかけでした。

——当時の東芝では？

鈴木　総研でもC-MOSをまだやっていない時代ですから、われわれ事業部が多摩川工場の一画に場所を借りて機器事業部の電卓用のLSIを開発するという体裁でスタートしたんです。あの当時はC-MOSのデバイスというのは、プロセスが非常に長いですから、一般にはつくれなかったんですね。

――じゃあ資料も少なかった?

鈴木　世界どこ見ても民生用には生産していませんでしたから。米国の軍事用に使われているぐらいなんで、軍事用の文献にチョロッと載っているくらいで、あまり学会誌にも出ていませんでした。それが、たまたま、私どもの図書館には軍事用のデバイスの資料がありましたんで、それを見て、C-MOSというのはいける、将来の低消費電力のデバイスとしては最適だということを知って、熱中しはじめたんです。ところが自分の所属している機器事業部では電卓用にP-MOS・LSIの設計をやらされましたから、私は二兎を追いかけることになりまして、極端に言うと、昼間は正業のP-MOSをやって、夜になると、C-MOSの内職というんでしょうか、C-MOSの開発をしようとするスタイルでかなりきつい毎日でした。

――C-MOSをやるか、P-MOSをやるかというのは、社内でもずいぶん議論のあったところでしょうね。

鈴木　ありました。C-MOSはプロセスが長くてコストが高くなった。それに加えてまだイオン注入装置のない時代ですから。拡散法でつくったんですが、閉管法と言って大変やっかいな方法でした。拡散炉に閉じ込めまして、密閉するんです。

――ガスを流さないで?

鈴木　いや、ガスを流したあと、全部閉じちゃって、それで均一に拡散できるという方法でした。一個を拡散し終わって管を開けますよね、そうすると、もうその石英管は切ってしまいますから使えないんです。量産性にものすごく乏しいやり方でした。

——その方法で、夜はC-MOS？

鈴木　ええ。昼は機器事業部の電卓のためにP-MOSをつくってね。

——そんな二股かけなくても、C-MOSの三チップでP-MOSより将来性のある電卓が試作できたんだから、機器事業部もP-MOSをC-MOSに変更すればいいのにね？

鈴木　それで、この三チップのC-MOS電卓ができたときに、実はその当時機器事業部に持って行ったんですけれども「コスト面で使いきれない」と言うんで、私どもの社内では、これは採用されなかったんです。

——どうなさったんですか？

鈴木　関西地区のお得意に持って行きましたら、非常に受けまして、そのお客様が、これを貸してくれと言うんでお貸ししたんです。すると、そのお客様がこれを持って世界を駆け回ったと聞きました。

——世界を駆け回ったというのは？

鈴木　要するに、売れるかどうかのマーケットリサーチに使ったんですね。

——事前に？

鈴木　ええ、事前PRということで。やがてお客様から三チップを一チップにするように要求がありまして、実際に製造しましたのは三チップではなくて、一チップのC^2-MOS・LSIの電卓なんですけれども、一チップのC^2-MOS・LSIは、お客様と共同で開発いたしました。

——それは昭和何年のことですか。

鈴木　昭和四七年だったと思います。

こうして、単三を、一本で一〇〇時間も連続使用できる薄型ポケット電卓が誕生した。昭和四八年に発売されたシャープ液晶コンペット「ＥＬ８０５」である。次ページの写真（右上）で見るように、完全ポケットサイズ。横幅七センチ八ミリ、長さ一一センチ八ミリ、厚さ二センチ。重さが一九五グラム。消費電力が二〇ミリワット。液晶表示とシリコン導電ゴムを一体成形したキーボード。価格二万六八〇〇円。この電卓の登場がきっかけとなって薄型化が一段と進み、電卓のパーソナル化が加速された。

やがて五年後の昭和五三年には、電卓の消費電力は〇・二ミリワットという驚異的なものになり、電源も一円玉ほどのリチウム電池になった。名刺サイズで厚さ一・六ミリ、重さ三六グラム。価格七九〇〇円。そして間もなく消費電力はさらに下がり、電源がわずか数センチ角のフィルム状太陽電池に変わった。

こうして先発メーカーは、徹底した新技術を追求する一方で、巨大な生産ラインの完全自動化を推進した。低賃金依存型のメーカーには、無人化で対抗したのである。その一例が印刷技術の導入であった。写真Ａに写っている黒い物質が、電気を伝える導電性のインクである。インクの下に見えるのが、配線を焼き付けたシルクスクリーンである。謄写版の原紙だと思えばよい。これを薄いプラスチックフィルムに謄写版のように印刷すれば、写真Ｂのような配線フィルムが完成する。印刷工場でのようにロール状に巻き取られているのが、写真Ｃである。かつて最も人手を要した工程が、導電インキの導入で、ただの印刷工程に変わってしまったのである。

このフィルムにＬＳＩチップと液晶表示装置と太陽電池を装着すれば、電卓の骨格は完成する。こ

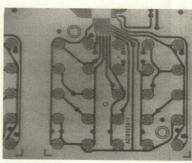
現代の無人化電卓製造工場

シャープ液晶コンペット「ＥＬ805」

C　ロール状の配線フィルム

A　導電性のインクと、配線図を転写したシルクスクリーン（後方）

D　ＬＳＩチップ（下）液晶表示装置（上）太陽電池（中央）を装着した電卓の内部

B　配線フィルム

うしてできた電卓の中身が、写真Dである。明るい場所で、フィルムの下に金属板を敷いて、フィルムに印刷された黒い円形部分を指で押すと、液晶表示に数字が表れる。黒丸部分を電卓のキーのようにポンポンポンと押していくと鮮やかに計算をしてくれる。これをキーボードのついたケースに入れると電卓は完成。キーはただのゴム状シートに過ぎない。それを押すとゴム状の突起が導電配線を金属板に押しつけて、キー・スイッチをオンにしてくれる。

さて、これらの部品を組み立てるのも、コンピューター制御による自動機械である。あくなき自動化の追求であった。今、電卓工場に人影はない(前ページ左上の写真、参照)。こうして電卓産業は巨大な装置産業に変身し、多くの企業が市場から撤退した。生産ラインの完全自動化によって、高性能な電卓がローコストでできるようになり、低賃金が無力化し、にわか電卓メーカーは市場から消えた。最後まで市場に残ったのがシャープとカシオ計算機の二社であった。こうして電卓戦争が終わりを告げたのである。

日本市場の閉鎖性と行政指導

再びアメリカに目を転じてみよう。液晶電卓が日本に登場した昭和四八年の一年前のことであるが、一九七二年(昭和四七年)一月にアメリカで驚異的な電卓が登場した。ヒューレット・パッカード社製のHP-35である。重量二五〇グラム。ワイシャツの胸ポケットにすっぽりと入る大きさで電池駆動。三角関数、対数、平方根、その他の数字の加減乗除が自由自在にできて、小売価格三九五ドル。それはまさに電子計算尺の発想でつくられた画期的な電卓であった。

同じ年の七月、HP-35に対抗してTI社はポケット電卓を一四九ドル九九セントで発売。それは一九六七年にジェリー・メリマンたちが試作した電卓の子孫であった。その翌月、ナショナル・セミコンダクター社が六桁の加減乗除機能をもつ電卓を三九ドルで発売。この電卓の登場で、アメリカでもパーソナル電卓が爆発的に普及していったのである。まさにアメリカ版カシオミニであった。こうして同じ年の一〇月、アメリカのボウマー社が全米一の電卓メーカーにのし上がった。

ところで、ヒューレット・パッカード社製のHP-35より高い性能のLSIチップを提供したいと日本の会社に売り込んだ会社が、フェアチャイルド社であった。

一九六八年（昭和四三年）当時、フェアチャイルド社の社長は、モトローラ社から招聘されたレスター・ホーガン博士であった。破綻寸前だったモトローラ社の半導体部門を再建し飛躍させた腕を買われてスカウトされ、経営の任に当たっていた。

フェアチャイルド社を設立し、軌道に乗せ、飛躍させたのは、ロバート・ノイスであったが、親会社の航空カメラ会社は、なぜかノイスを冷遇し、けっしてフェアチャイルド社のトップに据えようとはしなかった。

ロバート・ノイスと彼の腹心たちは一九六八年に退社し、新しくインテル社を設立するのであるが、ノイスの去ったフェアチャイルド社に大軍団を引き連れてモトローラ社から乗り込んできたのが、レスター・ホーガン博士であった。

そのホーガン博士がヒューレット・パッカード社のHP-35を越えるLSIができると、日本の電卓メーカーに売り込んだ。やがて設計製造契約が成立し、仮契約の調印にこぎつけた。

ホーガン　私は閉鎖的な市場に何度も直面し、そういった状況が本当に嫌いでした。私が請われ

てモトローラ社からフェアチャイルド社の社長になったのが一九六八年（昭和四三年）のことでしたから、それ以後のことだと思いますが、こんな例がありました。その日本企業の社長の名前は出さないでおきたいんですけれども、フェアチャイルド社は有力な日本企業と五〇〇万ドルのＬＳＩの製造契約を結びました。それはハンディータイプの計算機に関してＬＳＩチップを設計し製造するという契約でした。これは日本側にとっては、非常に重要でした。

レスター・ホーガン氏

――なぜですか？

ホーガン　当時はヒューレット・パッカードが一九七二年（昭和四七年）にＨＰ-３５という驚異的な高性能電卓を発表したばかりの頃でしたので、その電卓メーカーには対抗できるＬＳＩチップが緊急に必要だったのです。なにせ、ＨＰ-３５は実に画期的な商品でして、私たち業界内の人間にとっても非常に衝撃的なハイテク製品でした。フリーランス計算機よりも高度な計算ができ、まさにエンジニア向きの電子計算尺とでも言えるほどプロ向きの製品でした。多種多様な用途に使える万能計算機とでもいえる名器だった。ですから、日本の企業は、何としてもＨＰ-３５に対抗できるチップを私たちにつくってほしかったのです。

――なるほど。

ホーガン　その企業の社長を含めて、双方の企業が開発製造契約書に署名しました。金曜日の晩でした。ところが翌週の中頃になって社長が、私たちフェアチャイルドの幹部を東京に呼

び、申し訳ないけれども、契約はキャンセルしなければならなくなったと告げたのです。

――なんでまた？

ホーガン　ICチップはアメリカから買ってはならない。注文は日本の半導体メーカーにせよと日本政府の高官から厳命されたというのです。

――それは通産省のことですか。

ホーガン　そうです、MITIです。

――どうお感じになられましたか。

ホーガン　とても嫌な気持ちで傷つきました。というのも、それまで日本とアメリカの間には良好で緊密な関係ができていました。われわれは日本に対して、惜しみなく半導体技術を教えてきました。そのほとんどがベル研究所やフェアチャイルド社が生み出したものでした。私がモトローラ社にいた頃だって、日本の業界から沢山の科学技術者を受け入れ、研究所で技術の真髄を披露し、工場で生産技術の重要な部分も見せたりしていましたので、日本の通産省の態度は本当に信じがたい話で、恩を仇で返す仕打ちに思えたのです。

日本製LSIチップの世界的制覇

こうしてフェアチャイルド社の売り込みは、通産省の強力な行政指導で潰された。ちょうどこの前後、一九七三年からアメリカでも電卓の猛烈な価格競争が繰り広げられていく。三年後の一九七五年（昭和五〇年）二月には、全米一を誇ったボウマー社が激烈な価格競争に敗れて破産した。その年にア

メリカで販売された電卓は二〇〇〇万個と推定されているが、そのうちアメリカ国内産が二割、日本製が三割、あとの五割がヨーロッパや東南アジアなど他の諸国からの製品であった。しかし、そこに使われているLSIチップの多くが日本製であった。

日本の電卓戦争が半導体産業に果たした役割について、電卓産業のパイオニアの一人であるシャープの浅田篤副社長は、次のように総括する。

浅田　半導体というのは、トランジスタもそうですけれども、特にIC、LSIになりますと、いかに量をつくって供給できるかということが競争力の原点なんですね。ご承知のように、半導体というのは技術の進歩が激しいうえに非常に巨額な設備投資を必要としますから、常に膨大な需要がないと後れをとってしまう産業なんですね。設備投資が多額につくのに、同時に進歩が速いわけですから。三年か四年で技術が陳腐化し、したがって四年もたつと工場をリフレッシュしなきゃならない。その工場をつくるのに何百億という多額の投資が必要だということになると、短期間にそれだけの設備投資を償却するだけの量的な需要の裏づけが必要になる。これがないと半導体産業は伸びないわけです。逆に、量が伸びないと償却できませんから、コストが高くつく。そうすると、次の新しい時代に対して、思い切った工場の新設ができないから敗退に追い込まれる。

――技術革新についていけなくなる?

浅田　そうです。ですから半導体メーカーにとっては大量需要こそが命の綱なんですが、これをわが社をはじめ電卓メーカーが常に保障してきたんですね。ですから、日本の半導体産業をここまで牽引してきたのは、明らかに電卓産業だったと私たちは自負しているんです。

——なるほど。

浅田　電卓の一号機のときは半導体メーカーさんも半信半疑で、「早川さん何やってるのかいな」と言われた。ＩＣ化のときも疑問をもたれた。ＭＯＳ・ＬＳＩのときはなかなか乗ってくれなかった。しかし結局、最終的にＣ-ＭＯＳのような低消費電力のものが出てきて本命になった。アメリカでは宇宙や軍事で発達した技術を、大衆商品に結びつけてＩＣの大きな需要をつくったのは私たち電卓メーカーだったのです。軍事・宇宙とは比較にならない巨大市場こそが、現在の日米の半導体格差を生んだとさえ言えると思うのです。

シャープとともに電卓戦争を生き残ったカシオ計算機の専務取締役志村則彰さんもまた、電卓メーカーが半導体産業に果たした功績を、別の角度から次のように語っている。

志村　われわれ電卓メーカーは、半導体メーカーのモルモットでした。ゲルマニウムトランジスタ、シリコントランジスタ、ＩＣ、ＭＯＳ・ＩＣ、Ｐ-ＭＯＳ・ＬＳＩ、Ｃ-ＭＯＳ・ＬＳＩ。これらを真っ先に使って悪戦苦闘したのは、いつも私たち電卓メーカーでした。どれも製造初期には手を焼きました。全部最初の立ち上がりの六か月は本当に苦労しましたからね。プロセスが変わる当初から、必ず問題が起こるんですから。その問題をそっくり抱えながら、承知のうえで私たちが大量の半導体を使ったのです。

——なるほど。

志村　こんなに苦労するのは、こりごりだとはだれも言いませんでした。それはやっぱり若かったんでしょうね。われわれも若かったし、受ける側の半導体メーカーさんも若かった。われわれが「こんなことやってくれ」と要求する。向こうも「こんなことできるよ」と言っ

てくる。「おまえ、そんなことを言うけれども、また問題を起こすんじゃないの」と言いながら、「使ってくれよ」と言うと、「わかった、じゃあ良い設計しようじゃねえか」と苦労を厭わなかった。

――なるほど。

志村　われわれが半導体メーカーのモルモットなら、半導体メーカーさんもわれわれのモルモットだった。こうしてお互いが切磋琢磨していったということですかねえ。そして互いの体験を糧として半導体メーカーは性能を上げ、品質を向上させていったのです。こうして日本の半導体は、量的にも質的にも伸びたと思うのです。

シャープ、カシオ計算機とともに電卓戦争を生き残るはずだったと、社長の小平均さんが言った東京電子応用技術研究所（ティール社）も、結局は莫大な負債を背負って市場から撤退した。社長の小平さんは昭和五二年九月にティール社の社長を退任した。その後昭和五九年に、コンサルタント会社「コスモール」を資本金一〇〇〇万円で設立、代表取締役の一人に就任した。国内はもちろんヨーロッパなど海外企業からの依頼で、商品開発や生産設備に対する調査指導を引き受けて奔走する毎日である。

小平　私は現在コンサルタントとしてヨーロッパの仕事にも深い関係があるのですが、実は、日本ではきわめて普通になっている表面実装という技術が、ヨーロッパにはないんですね。厚さ二ミリぐらいの部品をピュッピュッと板の裏表に接着剤でくっつけて、それを窯の中を通すだけで回路が基板表面に焼きつけられるという技術ですね。日本では電気製品の製造では常識になっているんですが、これがヨーロッパにはまったくない。

――その技術をヨーロッパが導入したいと？

小平　その相談を受けたのですが、それをやるとなると単に表面実装の技術そのものの話ではなくなってきた。設計技術から実装機械、部品、材料などあらゆるものが、ヨーロッパにはまったくない。

——こっちから持って行かなきゃならない……。

小平　向こうは単なる実装技術の問題だと考えているようですが、実はそうではなくて基板の問題なんですね。部品だけの問題とかICだけの問題であれば、そこだけを開発すれば何とかキャッチアップできますけど、そうではない。ハンダの問題、電気炉の問題、実装機械の問題、設計の問題まですべてが不足している。

——電子立国の基盤ができていない。

小平　はい。これはヨーロッパ随一の大電気メーカーにしてこれですから、あとは推して知るべしですね。ですからヨーロッパは、もう立ち上がれないんじゃないかとさえ思えてくるんです。ですからフランスを含めてヨーロッパが、あれだけ日本の電子技術に対してものすごく神経質に拒否してくる姿勢というのはわからんでもないですね。

——なるほど。

小平　しかし、これはこういう電卓戦争のなかで知らず知らずのうちに築かれていたんですね。だれかがそうしようと考えてやったんではない。

——競争しているうちにそういう……。

小平　そうです、そうです。国内で食うか食われるかの競争をしている間にこうなっちゃった。国内の戦争が終わって、後ろを振り返ったら世界には日本の敵がいなかった。

——なるほど。

小平　国内で生き残るために、それしか道がなかったから、やってきたに過ぎないんですが、ヨーロッパ側から見ると、日本は何か意図的に計画的に世界制覇を着々と実行してきた。日本の戦略性とか企業哲学のもたらした結果と見えるらしいですね。

——計画的にやっていると……。

小平　計画的に国家ぐるみで戦略的にやってるんじゃないかと、みんな誤解してますね。

——しかし、実際は……。

小平　実際は全然違うんですよね（笑）。電卓の軽薄短小だって世界に雄飛するためにしたんじゃない。その道を進まないと、国内で他社に負けて生き残れないからやったに過ぎない。小さくするためには通常の抵抗じゃ駄目ですから厚さ二ミリのセラミックの抵抗材を開発するとか、コンデンサーだってフィルムほどの薄いものを開発した。ＩＣだってフラットなものをそのままつけるとか。一般家電からこういう電卓に至るものまで、世界征服の意図など片鱗もなかった。ひたすら生き残るためにやってきたことなんで、振り返ったらだれもついてこれなかったという……（笑）。

——それは生き残るための……。

小平　そうそう、日本の軍団がマラソンを必死で走ってゴールで振り返ったら後ろには、だれもいなかった。

トップ水準を行く日本製ＬＳＩ

私たちは電卓生産台数の推移を表すグラフに、ＩＣの生産個数の推移を書き入れてみた。グラフは図38のようになり、ＩＣの伸びは電卓生産台数の伸びとほぼ一致しているように見えた。しかしＩＣのすべてが電卓に使われたわけではない。ＩＣやＬＳＩの需要に電卓が大きな割合を占めたのは昭和四〇年代から五〇年代初めまでのことである。その後、ＬＳＩはオーディオ、テレビ、ＶＴＲ、通信機器、コンピューター、パソコンやワープロと幅広く使われるようになり、その使用量を激増させていった。今ではＩＣ需要に占める電卓の割合は非常に小さくなっている。図39は、昭和四六年から五二年にかけて、国産ＩＣが何に使われたかを示す「分野別需要割合」である。各年とも電卓、電算機（コンピューター）関連機器、通信・計測器、テレビ、その他に分類されている。全部合わせるともちろん一〇〇パーセントである。昭和四六年は国産ＩＣの四〇パーセントが電卓に使われ、全体の傾向としては比率を緩やかに下げながらも三〇パーセント前後が維持している。電卓戦争の終焉とともにこの地位を他の機器に渡していくのだが、日本ＩＣ産業の飛躍を助け、離陸させたのは明らかに電卓戦争であった。

日本の電子産業を支える、安くて高品質なＬ

図38　電卓生産台数と半導体生産の変遷

図39　国産ICの分野別需要シェア(%)

SI。それらを人手を介すことなく装着する自動システム。そのいずれもが電卓戦争の産物であった。この二七年間に生産した電卓は推定およそ一〇億台。これが半導体産業に莫大な需要をもたらし、猛烈な技術革新を強いた。電子立国日本の飛躍を準備したと言えるのである。

*

さて、ここまで書き綴ってきて、紙数がまったく足りないことに気がついた。マイコンがいかにして誕生したのか。そして、それを応用商品や生産技術にいかに生かしたのか。半導体産業を支えてきた周辺技術を築いた人たちはどんな苦闘を体験したのか。そして今、日本の半導体関連技術がいかに高度な水準に達しているのか。また、なぜアメリカの半導体産業が弱体化したのかなど、読者に伝えたい事柄がまだ多く残っている。そこで本シリーズに、上・中・下巻の三冊にもう一冊加えて、完結巻を書くことにした。全四冊になる。

ところで、日本製半導体の信頼性を現在の水準に引き上げたのは電電公社の電子交換機計画「DEX2」だと言われている。アメリカの航空宇宙局（NASA）よりもはるかに過酷な強制劣化試験を課したのである。この試練を経て、日本製LSIの信頼性が急激に向上したのである。

折しも、MOS・LSIの開発に後れをとった日本の半導体メーカーに、〝神風〟が吹く。それは、アメリカのLSIメーカーは低賃金を求めて東南アジアに工場を建設するが、そこで生産されたLSIに大量の不良品が発生し、東南アジア製アメリカブランドのLSIを使っていた日本の電卓メーカーが一斉に国産LSIにシフトするのである。日本製のLSIの品質がいかにして世界的な水準に達し、信頼性を勝ち取ったか。完結編は、その物語から書き始めたい。

本書、取材協力及び証言者（敬称略）

◆参考文献

『トランジスタ25年』（毎日新聞の昭和48年連載記事）
『電卓と新幹線』（刀祢正久著）
『日本の半導体開発』（中川靖造著）
『道具と機械』（D．マコーレイ著）
『ビジネスマシーン・イヤーズブック1971～1980年版』（ビジネス通信社）
『日本半導体年鑑1989～1991年度版』（プレスジャーナル社）
『エレクトロニクス50年と21世紀への展望』（日経マグロウヒル社発行）

◆取材協力

財団法人・半導体振興会半導体研究所
文具資料館
オフィス研究所
シャープ
カシオ計算機
AT&Tベル研究所
テキサス・インスツルメンツ社

◆証言者（証言内容当時の肩書と取材時点での肩書、アイウエオ順）

浅田　篤（当時早川電機工業社員、シャープ副社長）
大野　稔（当時日立製作所武蔵工場生産技術部員、日立超LSIエンジニアリング代表取締役社長）
尾崎　弘（当時大阪大学工学部教授、シャープ名誉顧問）
長船廣衛（当時日本電気半導体事業部技術部長、アメリカNEC社長を経て大阪チタニーム製造顧問）
忍足　博（当時三菱電機研究員、マスターエンジニアリング技師）
小島義雄（当時日本計算器社長、ビジコン社代表取締役社長）

小平　均（当時東京電子応用研究社社長、日本エレクトロニクス社取締役）
佐々木正（当時早川電機工業常務取締役、シャープ顧問）
佐藤興吾（当時日立製作所武蔵工場開発部長、アキタ電子社長）
志村則彰（当時樫尾製作所社員、カシオ計算機専務取締役情報機器事業本部長）
鈴木八十二（当時東芝機器事業部員、東芝電子事業本部液晶担当副技師長）
傳田精一（当時通産省工業技術院電気試験所電子部トランジスタ研究室研究員、コニカ常務取締役）
垂井康夫（当時通産省工業技術院電気試験所電子部トランジスタ研究室主任研究員、東京農工大教授）
徳山　巍（当時日立製作所中央研究所主任研究員、筑波大学教授）
長江幸昭（当時日本TI販売担当マネージャー、日本テキサス・インスツルメンツ社代表取締役社長）
西澤潤一（当時東北大学工学部通信研究所教授、現在東北大学総長）
羽田将之（当時カシオ計算機社員、カシオ計算機常務取締役SV事業本部長）
村岡久志（当時東芝電子事業部半導体材料課員、ピュアレックス社取締役社長）
吉田幸弘（当時シャープ産業機器事業部第二技術部員、シャープIC事業部ロジック技術センター第五技術部参事）
鷲塚　諫（当時早川電機工業社員、シャープ取締役液晶事業本部長）
ウィリス・アドコック（当時テキサス・インスツルメンツ社研究員、テキサス大学工学部教授）
ゴードン・ムーア（当時フェアチャイルド社研究開発部長、現在インテル社会長）
ジャック・キルビー（当時テキサス・インスツルメンツ社研究員、コンサルタント）
ジェリー・メリマン（当時テキサス・インスツルメンツ社研究員、TIフェロウ）
ブルース・ディール（当時フェアチャイルド社研究員、アドバンテッジ社副社長）
マレー・シーゲル（当時フェアチャイルド社員、サーラス・ロジック社国際販売部長）
レスター・ホーガン（当時フェアチャイルド社社長、悠々自適）

■ＮＨＫスペシャル「電子立国　日本の自叙伝」スタッフ

制作協力　ＮＨＫエンタープライズ
語り　三宅民夫
取材　行成卓巳
　　　伊藤　真
　　　古賀龍威智郎
撮影　澤中　淳
照明　坂本光正
音声　富永光幸
技術　太田　司
音響効果　斎藤　実
海外リサーチ　野口修司
アート・コーディネイト　藤田惣一郎
ＣＧ製作　岩田智佐子
科学実験　鷲塚淑子
模型製作　田中義彦
デスク　宮崎経生
制作　大井徳三
企画・構成・演出　相田　洋

編集協力　石川青藍社
　　　　　久我孜
　　　　　山本嘉昭
　　　　　渡辺靖子
　　　　　広地ひろ子
写真撮影・提供　日本テキサス・インスツルメンツ
　　　　　　　　「電子立国　日本の自叙伝」プロジェクト
レイアウト　町山悦子
図版トレース　野村写植

相田 洋（あいだ　ゆたか）
1936年生まれ。60年早稲田大学法学部卒業。同年NHK入局。ディレクターとして、「ある人生」「乗船名簿AR—29」「石油・知られざる技術帝国」「核戦争後の地球」「自動車」「電子立国・日本の自叙伝」など多くのドキュメンタリー番組を制作。イタリア賞グランプリ、テレビ大賞、芸術祭大賞など数多くの賞を受賞している。

NHK
電子立国　日本の自叙伝［下］

■発行日　1992年2月20日第1刷発行

■著者　相田　洋

■発行　日本放送出版協会
東京都渋谷区宇田川町41—1
郵便番号：150
電話番号：03-3464-7311
振替：東京1—49701

■印刷・製本　凸版印刷株式会社

■装幀　竹内宏一

ISBN4-14-008793-5 C1055

NHK
電子立国 日本の自叙伝

相田 洋（NHKディレクター）

定価各1、500円（税込）

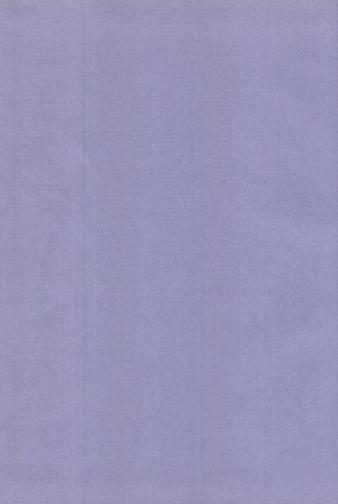
〈完結巻〉＊4月刊予定

「電卓戦争」から誕生したワン・チップ・コンピューター「マイクロプロセッサー」。〃産業のコメ〃といわれ、家庭用品から巨大システムまで、無限に利用範囲が広がっていった。日本の半導体技術は、やがてアメリカを凌駕する。

〈上巻〉＊好評発売中！

ノルウェーの珪石が現代半導体産業を支える「魔法の石」に変貌するまでを追い、ゲルマニウムによるトランジスタ理論の誕生、敗戦日本でのゲルマニウム精錬秘話に迫る。

〈中巻〉＊好評発売中！

ゲルマニウムの性能劣化の解決策としてアメリカで生まれたシリコントランジスタはすぐに集積回路へと発展、電子革命が始まる。一方日本では、この高度な技術に動転していた。

NHK 電子立国 日本の自叙伝　相田 洋

上　好評発売中

ノルウェーで採掘された珪石。
半導体産業を支える「魔法の石」に変貌するまでを追い
ゲルマニウムによるトランジスタ理論の誕生、
さらに敗戦国日本における手探り状態での
ゲルマニウム精錬秘話に迫る。

中　好評発売中

ゲルマニウムの性能劣化の解決策として
生まれたシリコントランジスタ。
アメリカの技術者たちが生み出したこの新技術は
すぐに集積回路へと発展していく。
電子革命の始まりである。

完結　'92年4月発売予定

「電卓戦争」から誕生したワン・チップ・コンピューター…
「マイクロプロセッサー」。産業のコメといわれ
家庭用品から巨大システムまで
無限に利用範囲が広がっていった。
日本の半導体技術はやがてアメリカを凌駕する。

ISBN4-14-008793-5 C1055 P1500E ■定価1,500円(本体1,456円)